DIE FESTSTELLUNG DES TODESZEITPUNKTES ANHAND DER TOTENSTARRE

Carl Klein

1979

Dissertations- und Fotodruck ANNELIESE SCHUBERT
Corneliusstraße 21 · 8000 München 5 · Telefon 268177

Aus dem Institut für Rechtsmedizin der Universität München

Direktor(Vorstand): Prof.Dr.Spann

DIE FESTSTELLUNG DES TODEESZEITPUNKTES ANHAND DER TOTENSTARRE

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der Doktorwürde in der gesamten Medizin
an der Ludwig Maximilians-Universität zu München

Carl K l e i n

München

1979

Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät München

Berichterstatter: Prof. Dr. S p a n n

Mitberichterstatter:

Dekan: Prof.Dr. S p a n n

Tag der mündlichen Prüfung: 3. April 1979

G l i e d e r u n g

1. Einleitung

2. Literaturübersicht

2.1. Der biochemische Verlauf der Totenstarre

2.2. Die erste Studie über die Totenstarre (Nysten)

2.3. Die methodische Auswertung der Totenstarre aus der Literatur (Mallach)

2.4. Die Untersuchung von Oppenheim und Wacker

2.5. Forsters Untersuchung über das mechanische Verhalten der Muskulatur in der Totenstarre

2.6. Totenstarre und Umgebungstemperaturen

1. Morgenstern
2. Bate, Smith und Bendall
3. Prokopp

2.7. Forsters Untersuchung des Einflusses der Temperatur auf die Totenstarre

2.8. Forsters Beweis der Notwendigkeit der Spannung der Muskulatur zur Entwicklung der Totenstarre.

2.9. Der Zusammenhang zwischen Todesart und Rigor mortis (Forster)

2.1o. Die Forschung von P.Zink

1. Spannung und Dehnungskurven
2. Das mechanische Verhalten der Muskulatur während der Totenstarre
3. Die gewaltsame Lösung der Totenstarre

2.11. Die Aufstellung des FRR Index.

3. Untersuchungsgut

3.1. Lebensalter
3.2. Körpergewicht
3.3. Körpergröße
3.4. Zeitraum der Untersuchung
3.5. Das verwendete Material
3.6. Umgebungstemperatur
3.7. Übersichtstabelle

4. Methode

4.1.1. Messung von Größe und Gewicht
4.1.2. Hebelaparatur
4.1.3. Brechung der Totenstarre am Bein
4.1.3.1. Messung des Hebelarms
4.1.4. Brechung der Totenstarre am Arm
4.1.4.1. Die Messung des Hebelarms
4.1.5. Der Leerwert
4.1.6. Die Umfangsmessung
4.1.7. Die Messung im zeitlichen Abstand
4.2. Das Meßinstrument
4.3. Die Meßeinheit

5. Maßergebnisse und Auswertung

5.1. Die Kraftmomente zur Brechung der Starre an Beinen und Armen
5.1.1. Kurvenbeschreibung
5.2. Ermittlung der oberen Grenzkurven
5.2.1. Verteilung der Meßwerte
5.2.2. Beschreibung der Lognormalverteilung
5.2.3. Prüfung am Wahrscheinlichkeitsnetz
5.3. Die 95 o/o Toleranzgrenzen
5.4. Die halblogarithmische Auftragung
5.5. Rücktranformation in numerische Darstellung

UNIV. LEIDEN BIBL.

5.6. Die Aussage des Grenzbandes
5.6. Berücksichtigung des Umfanges
5.7.1. Zitat von Forster et al. (5)
5.7.2. Beschreibung der Kurven (Kraftmoment/Umfang^2)
5.7.3. Eintragung der 95 o/o Toleranzgrenzen
5.7.4. Logarithmische Auftrahung der 95 o/o Toleranzgrenzen
5.7.5. Vergleich mit Abbildung 11 und 12
5.7.6. Rücktransformation des Grenzbandes in numerische Darstellung
5.7.7. Unterschiede zwischen linken und rechten Umfängen
5.8. Rechts-Links Verhalten

6. Diskussion

6.1. Sinn der Arbeit
6.2. Vergleich mit der Arbeit Forsters et al.
6.2.1. Kurzer Hebelarm
6.2.2. Winkelgeschwindigkeit
6.2.3. Leerwert
6.2.4. Umfang
6.2.5. Temperatur
6.3. Vertrauensgrenze mit Irrtumswahrscheinlichkeit
6.4. Ergebnis

7. Zusammenfassung

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41535715_0021

1. Einleitung

Von den drei sicheren Todeszeichen - Totenflecken, Fäulnis und Totenstarre - wird letztere in dieser Arbeit als Kriterium für die Bestimmung des Todeszeitpunktes untersucht.

Eine exakte Schätzung des Todeseintrittes wäre u.a. eine wertvolle Hilfe für die Kriminalpolizei, als ein Hinweis zur Klärung der Todesumstände bei einer aufgefundenen Leiche.

Ziel der Arbeit ist bei bekannter Todeszeit und konstanter Umgebungstemperatur festzustellen, ob die Entwicklung des Rigoris mortis einem bestimmten zeitlichen Verlauf folgt, das heißt, ob man anhand der gemessenen Starre genaue Rückschlüsse auf den Todeszeitpunkt ziehen kann, welche auch eine Anwendung mit Beweiskraft in Foro zulassen.

Literaturübersicht

2.1. Biochemisch gesehen laufen bei der Totenstarre wahrscheinlich die gleichen Vorgänge ab, wie bei der Kontraktion des vitalen Muskels. Unter Spaltung von ATP zu ADP vereinigen sich Actin und Myosin zu Aktomyosin. Da die Resynthese von ATP als Bedingung für die Trennung von Aktin und Myosin postmortal nicht mehr stattfindet, bleibt die Totenstarre bis zur Lösung durch autolytische Veränderungen erhalten. (16)

2.2. Bereits im Jahre 1811 veröffentlichte Nysten die Arbeit "von der Erstarrung, welch die Körper des Menschen und der Tiere nach dem Tode befällt" (13). Sie steht am Anfang der wissenschaftlichen Erforschung der Leichenstarre.

2.3. Das Problem der Totenstarre wurde von zahlreichen Wissenschaftlern unter verschiedenen Gesichtspunkten behandelt.
Von Mallach wurde aus 28 Literaturstellen, die im Zeitraum von 1711 bis 1960 liegen, der Mittelwert und die Standartabweichung für den Ablauf der charakteristischen Eigenschaften der Totenstarre berechnet. (8)

2.4. Oppenheim und Wacker berichteten 1919 über Messungen der Totenstarre an 70 Leichen (14). Sie diskutieren insbesondere den Einfluß der Todesart, des Hebelarms und des Entwicklungszustandes des Muskulatur (Gewicht des Muskulus rectus femoralis). Um den Einfluß der Liegezeit auszuschalten werden nur Messungen zwischen 8 und 28 Stunden post mortem mitgeteilt und lassen sich somit nicht zur Schätzung der Liegezeit verwenden.

2.5. Einen wesentlichen Beitrag zum Verständnis des mechanischen Verhaltens von Muskulatur in Totenstarre leistete B. Forster (7) anhand von Muskeln männlicher Ratten.
Mit einem Kymographen verfolgte er Längenveränderungen der Muskulatur beim Belasten und Entlasten mit verschiedenen Gewichten. Die Muskelverkürzung und die gleichzeitig eintretende Abnahme der Dehnbarkeit beschreibt er als Ausdruck der Totenstarre.

2.6.1. 1927 untersuchte Morgenstern erstmals die Abhängigkeit der Totenstarre von der Umgebungstemperatur (12).

2.6.2. Bate, Smith und Bendall geben ein unterschiedliches Verhalten für die elastischen Eigenschaften bei verschiedenen Temperaturen an (1).

2.6.3. Prokopp setzte die Forschung in dieser Richtung fort und bestätigte eine deutliche Temperaturabhängigkeit (15). Bei seinen Untersuchungen erhielt er teilweise noch nach 3oo Stunden meßbare Starrewerte. Allerdings bei relativ niedriger Umgebungstemperatur.

2.7. In Fortsetzung seiner oben erwähnten Arbeit (7) untersuchte Forster die Abhängigkeit der Totenstarre von der Temperatur (6). Er wies nach, daß zur maximalen Verkürzung des Muskels bei sinkenden Temperaturen mehr Gewicht benötigt wird.
Der Zeitraum zwischen Tod und einsetzender Totenstarre, sowie jener zwischen Starrebeginn und maximaler Verkürzung wird also mit sinkender Temperatur größer (siehe Tabelle 1 und 2)

Tabelle 1: nach Forster (6)

Zeitspanne zwischen Tod und beginnender Starre (in Minuten)

	Inkubatortemp.	Raumtemperatur	Kühlschrank
Mittelwert	83	113	186
Standart Abweichung	6o - 11o	6o - 11o	15o - 23o

Tabelle 2: nach Forster (6)

Zeitspanne zwischen einsetzender Totenstarre und maximaler Verkürzung (in Minuten)

	Inkubatortemp.	Raumtemperatur	Kühlschrank
Mittelwert	1o6	135	218
Standart-Abweichung	7o - 14o	1oo - 17o	7o - 27o

2.8. In der gleichen Arbeit weist Forster zum ersten mal nach, daß zur Muskelverkürzung im Verlauf der Totenstarre eine Spannung der Muskulatur erforderlich ist. (6) Dabei genügt schon eine äußerst kleine Spannung, wie sie in der Mittelstellung eines Gelenkes anzutreffen ist um eine Verkürzung des totenstarren Muskels zu bewirken

2.9. Ebenfalls in der oben angeführten Arbeit (6) beschreibt Forster einen Zusammenhang zwischen Rigor mortis und Todesart.
Er tötete Ratten mit Parathon (E 605) und mit Kohlenmonoxyd. Bei den mit E 605 getöteten Ratten fand er unmittelbar nach dem Tode einen vergleichsweise wesentlich erhöhten Muskeltonus.

2.10.1. P. Zink stellte 1972 einen unterschiedlichen Verlauf der Spannungs- und Dehnungskurve im frischen und im totenstarren Zustand fest (17).

2.10.2. Wenig später ergänzte er diese Arbeit mit einer Studie über das mechanische Verhalten menschlicher Skelettmuskulatur während des Verlaufs der Totenstarre. (17)
Bei seinen Serienversuchen stellte er Gesetzmäßigkeiten im Verlauf der Veränderung der Totenstarre fest, die fünf Phasen unterscheiden lassen. Zum Teil entsprechen sie einer Einteilung, die auch Bate, Smith und Bendall benutzten.

2.10.2. Als Sonderfall stellt Zink das Gewaltsame Lösen der Starre dar. Nach einer Belastung des Muskels während der Erstarrungsphase trat anschließend eine erneute Versteifung und Verkürzung in geringerem Ausmaß wieder ein. Belastung am vollständig erstarrten Muskel ergab eine bleibende Verlängerung. Diejenigen Muselfasern, welche totenstarr waren, kontrahierten sich nach der Lösung kein zweites Mal. Dagegen erstarren die noch nicht kontrahiert gewesenen Fibrillen.

2.11. Bei manueller Prüfung der Totenstarre kommt es durch die unterschiedliche Beurteilung der einzelnen Prüfer zu schweren Fehlschätzungen. Den Unterschied zwischen tatsächlichem Verlauf und subjektivem Eindruck bei manueller Prüfung zeigt Forster (5) (siehe Abb. 1)

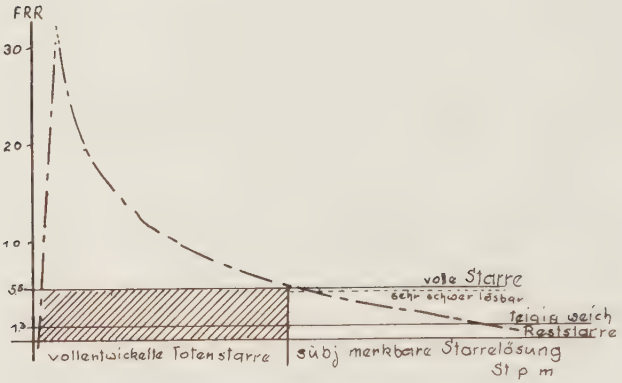


Abb.1

Abb. 1: gestrichelte Kurve: Verlauf der Federwaage (gemessen)

unteres Feld: subjektiver Eindruck bei manueller Prüfung

Ordinate: FRR Indices

Abszisse: Stunden post mortem

nach Forster

Zur besseren Objektivierung der Befunde konstruierte er eine Maximum Federwaage (5). Er fordert daß zwischen Waage und Gliedmaße stets ein Winkel von 9o Grad und eine gleichmäßige langsame Drehbewegung (Winkelgeschwindigkeit) eingehalten wird. Die somit erhaltenen Werte stellen die ausgeübte Zugkraft dar. Da diese bei verschieden stark ausgebildeter Muskulatur unterschiedlich ausfällt, muß auch die Dicke der Muskulatur in die Meßwerte eingehen, damit die Muskulatur (sie wird als Quadrat angegeben) entsprechend ihres Querschnittes erfaßt wird. Ferner spielen die Länge des Unterschenkels als langer Hebelarm, sowie die Entfernung von der großen Kniegelenksachse bis zur lateralen Kante der Kniescheibenvorderfläche als kurzen Hebelarm eine Rolle bei der von Forster entwickelten Formel zur Ermittlung des Starreindex.

$$FRR = \frac{P \cdot J_1}{U^2 \cdot J_2} \cdot 100$$

P = Zugkraft
J_1 = Unterschenkellänge (cm)
J_2 = kleiner Hebelarm (cm)
U = Oberschenkelumfang (cm)

3. Untersuchungsgut

Es handelt sich bei den zur Starremessung herangezogenen Leichen um 5o Weibliche. Bei einer wurde zu verschiedenen Zeiten Messungen an den jeweils diagonalen Extremitäten durchgeführt.

3.1. Das Lebensalter lag zwischen 9 und 8o Jahren. Der Mittelwert betrug 42 Jahre.

3.2. Der untere Grenzwert der gemessenen Körpergewichte war 32 Kg, der obere 81 kg. Es errechnete sich ein Mittelwert von 6o kg.

3.3. Die durchschnittliche Größe schwankte zwischen 144 cm und 188 cm. Der Mittelwert lag bei 162 cm (siehe auch Abb 2 - 5).

3.4. Die Untersuchungen fanden in einem Zeitraum von 1975 - 1977 statt. Insgesamt wurden 2oo Gliedmaßen untersucht.

3.5. Es wurden nur Leichen zur Untersuchung verwendet, die keinen auffälligen Befund an den Extremitäten aufwiesen. Der Zeitpunkt des Todes war auf die Stunde genau bekannt.

3.6. Mindestens 9o o/o der Liegezeit, das heißt der Zeit zwischen Eintritt des Todes und Durchführung der Messung, verbrachte das Untersuchungsgut in der Kühlkammer des Instituts für Rechtsmedizin der Universität München bei +4 $\pm$1 ^{o} C. Dementsprechend gelten die nachfolgenden Ergebnisse für eine Umgebungstemperatur von +4 ^{o} C.

3.7. In Tabelle 3 sind Sektionsnummern, Alter, Größe, Gewicht und Liegezeit einzeln aufgeschlüsselt, damit bei sich anschließenden Untersuchungen die Werte dieser Leichen mitverwendet werden können.

In Abb. 2 - 4 sind die Verteilungen des Lebensalters, des Gewichts und der Körpergröße in Form eines Histogramms dargestellt.

Abb. 2: Häufigkeitsverteilung des Alters für Zeitintervalle von 10 Jahren

Abb. 3: Häufigkeitsverteilung der Größen in Schritten von je 5 Zentimetern

Abb. 4: Häufigkeitsverteilung des Gewichts in Schritten von je 10 Kilogramm

Tabelle 3

Nr	QS	Jahr	Alter	Geschl.	Größe	Gew.	Liegezeit
1	1o7o	75	36	O	155	67	18
2	1o69	75	48	O	152	56	12
3	1o81	75	19	O	162	55	31
4	698	75	69	O	161	58	26
5	1134	75	59	O	168	68	31
6	114o	75	33	O	163	58	25
7	O	76	51	O	155	6o	46
8	8o	76	19	O	161	58	38
9	83	76	18	O	179	75	39
1o	98	76	19	O	163	71	47
11	117	76	42	O	162	5o	17
12	141	76	37	O	162	49	54
13	142	76	46	O	161	51	77
14	169	76	21	O	174	53	77
15	186	76	71	O	16o	6o	233
16	2o4	76	49	O	16o	55	1
17	219	76	49	O	151	72	3o
18	553	76	53	O	159	58	29
19	569	76	48	O	163	58	39
2o	O	76	37	O	169	49	19
21	617	76	38	O	152	56	18
22	6o9	76	44	O	159	61	29
23	623	76	22	O	161	56	65
24	645	76	9	O	149	32	35
25	661	76	52	O	168	61	46
26	662	76	31	O	164	63	17
27	663	76	46	O	169	52	14
28	668	76	52	O	162	69	65
29	689	76	53	O	161	53	25
3o	712	76	5o	O	16o	68	47
31	725	76	25	O	175	62	21
32	721	76	22	O	16o	48	54
33	731	76	8o	O	158	59	38
34	78o	76	24	O	17o	81	39
35	795	76	18	O	172	69	28
36	797	76	69	O	166	74	15
37	797	76	69	O	166	71	4o
38	796	76	79	O	151	43	22
39	8o8	76	36	O	176	57	26
4o	822	76	65	O	155	6o	19
41	87o	76	28	O	167	5o	42
42	873	76	32	O	167	5o	44
43	92o	76	54	O	165	77	18
44	53	77	68	O	157	47	65
45	59	77	51	O	153	55	93
46	46	77	76	O	155	48	54
47	66	77	48	O	159	41	45
48	72	77	25	O	176	76	11
49	92	77	23	O	162	58	18
5o	1o4	77	44	O	165	6o	74

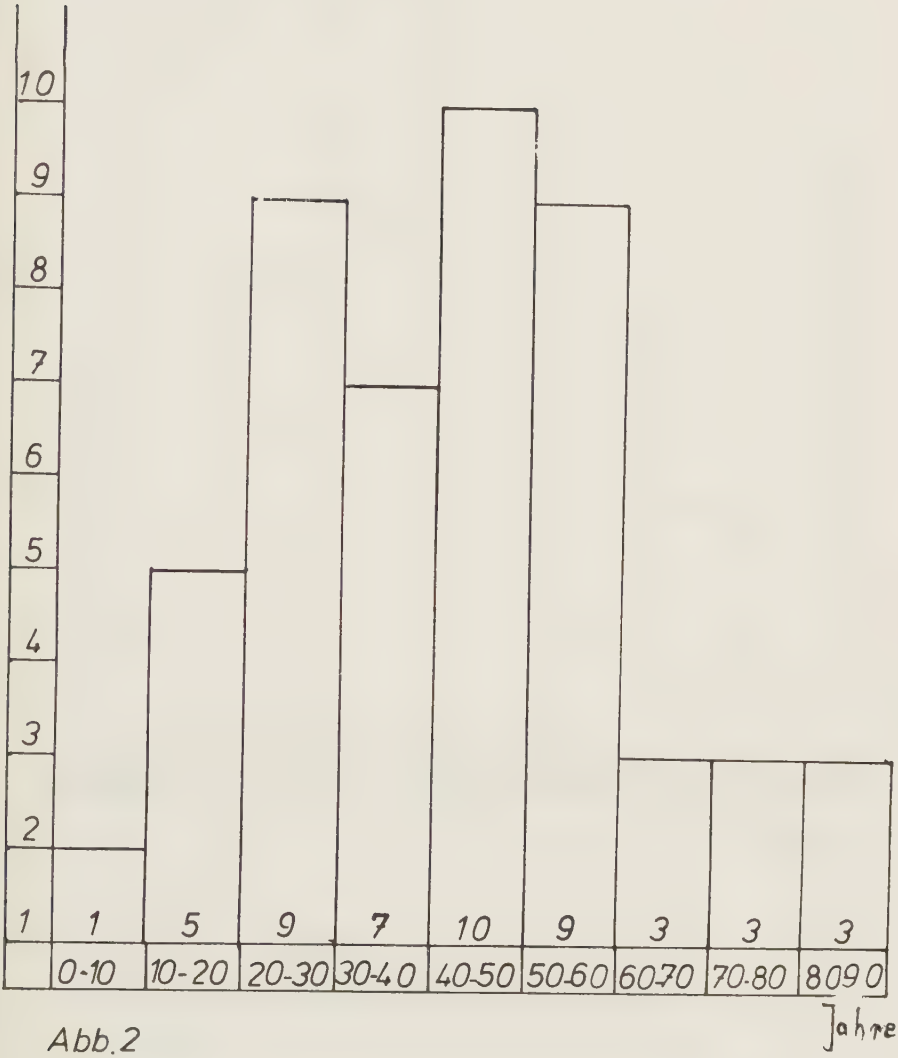

N=Anzahl
10
9
8
7
6
5
4
3
2
1
1
5
9
7
10
9
3
3
3
0-10
10-20
20-30
30-40
40-50
50-60
60-70
70-80
80 90
Jahre

Abb. 2

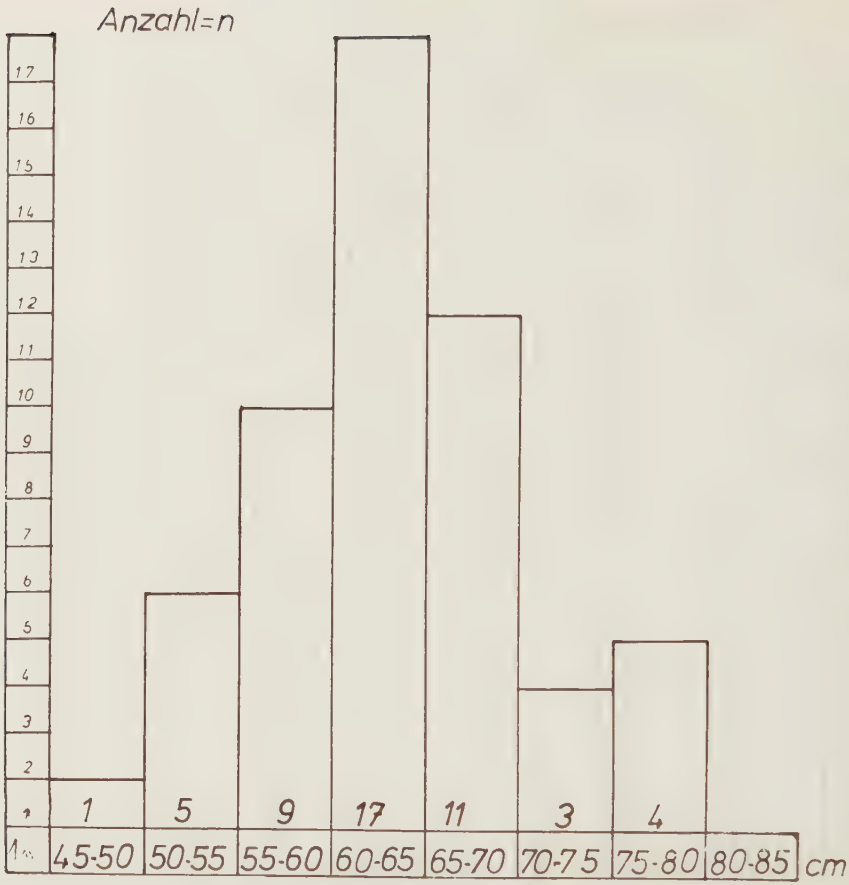

Anzahl=n
17
16
15
14
13
12
11
10
9
8
7
6
5
4
3
2
1
1
5
9
17
11
3
4
45-50
50-55
55-60
60-65
65-70
70-75
75-80
80-85
cm

Abb. 3

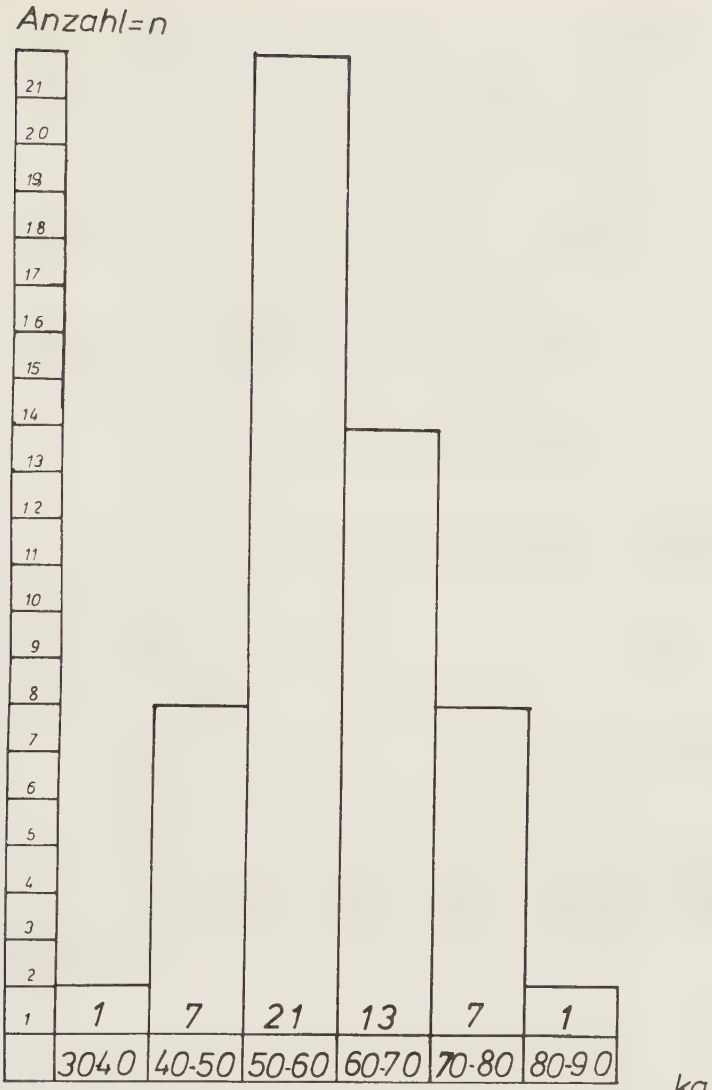

Anzahl=n
21
20
19
18
17
16
15
14
13
12
11
10
9
8
7
6
5
4
3
2
1
1
7
21
13
7
1
30-40
40-50
50-60
60-70
70-80
80-90
kg

Abb. 4

4.1.1. Die zur Messung in Frage kommenden Leichen wurden entkleidet.
Nach Festlegung von Gewicht und Körpergröße wurden sie zur Bauchlage gebracht.

4.1.2.1. Damit, wie schon bei Forster beschrieben (5) zwischen Zugkraft und Hebelarm (= Gliedmaße) stets ein Winkel von 90° eingehalten wird, wurde die in Abb. 5 dargestellte Apparatur zur Messung verwendet.

Abb 5 Messung der Zugkraft am Unterschenkel mit Zugkraftmesser und Hebelaparatur (Bescheibung siehe Text).
a im ungebrochenen Zustand
b im gebrochenen Zustand

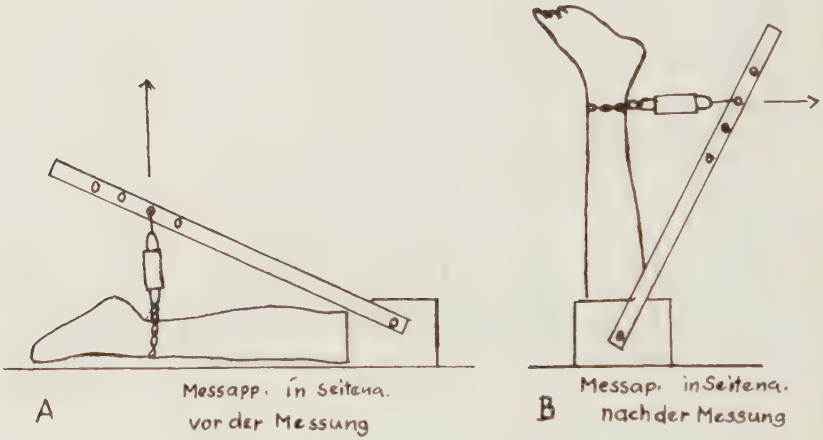


Abb. 5

Ihr Sockel umschloß den Oberschenkel und wurde am Untersuchungstisch so befestigt, daß sich ihr Drehpunkt auf gleicher Höhe mit dem Kniegelenk befand.

4.1.3. Damit konnte der Unterschenkel in einem konstanten Winkel zum Meßinstrument (von 9c°) gebeugt werden.

4.1.3.1 Daraufhin wurde der Abstand vom Kniegelenk bis zum Angriffspunkt der Zugkraft gemessen. Er betrug abhänig von der Körpergröße zwischen 35 und 4o cm und fungierte bei der Berechnung des Kraftmoments als Hebelarm

4.1.4. Zur Messung der Totenstarre am Ellenbogengelenk wurden die Leichen in Rückenlage gebracht Dabei wurden gebeugte Unterarme gestreckt und gestreckte gebeugt.
Da die aufzuwendende Zugkraft wesentlich geringer war, wurde mehrmals auf die oben beschriebene Hebelaparatur verzichtet.

4.1.4.1 Als Hebelarm wurde hierbei der Abstand des Angriffspunktes der Kraft zum medialen Epicondylus humeri protokolliert.

4.1.5. Nach vollständiger Brechung der Totenstarre wurde das Meßinstrument wieder auf Null zurückgestellt. Anschliessend wurde durch leichtes Beugen das Eigengewicht der Extremität in kp gemessen.

4.1.6. Sowohl am Oberschenkel als auch an den Oberarmen wurde der Umfang in definiertem Abstand von 2o bzw. 15 cm zum Knie-bzw. Ellenbogengelenk gemessen

4.1.7. Bei einer Leiche wurden die einzelnen Gliedmaßen nacheinander in größeren zeitlichen Abständen gemessen. Dies konnte aus institutstechnischen Gründen nicht mehrfach durchgeführt werden.

4.2. Die Messungen wurden mit dem Zugkraftmesser mit Maximalwertanzeiger der Firma durchgeführt, wie sie in ähnlicher Weise bei Forster (5) beschrieben ist.

Die Ablesegenauigkeit beträgt o,5 kp, die Messgenauigkeit o,2 kp. Die Skala enthielt Werte zwischen Null und dreihundert KP. Der Bereich in dem gemessen wurde lag zwischen 3 und 3oo kp.
Es wurde jeweils die zum vollständiger Brechen der Starre erforderliche Zugkraft in Kilopont (kp) gemessen.

4.3. Um die Maßeinheit für das Starre- bzw. Kraftmoment zu erhalten, das benötigt wird um die Totenstarre zu brechen, wird die Kraft mit dem Hebelarm (= Angriffspunkt der Kraft bis zum Gelenk) multipliziert

Kraftmoment (mkp) = Zugkraft (kg) mal Hebelarm (m)

5 Meßergebnisse und Auswertung

5.1. In den Abbildungen 6 und 7 sind die zum Brechen der Totenstarre erforderlichen Kraftmomente an Beinen bzw. an Armen aufgetragen

5.1.1. Die gemessenen Werte der rechten (mit O gekennzeichnet) und der linken (mit ∠ gekennzeichnet) Extremität sind jeweils miteinander verbunden
Die maximalen Kraftmomente für die Beine steigen in den ersten 12 Stunden an und erreichen bei 16 Stunden einen ersten Höhepunkt von ca.3o kpm, bei 38 Stunden fallen die Meßwerte wieder ab (siehe Abb.6)
Für die Arme steigen die Meßwerte in den ersten 24 Stunden bis zu einem Maximalwert von ca. 5 kmp und fallen nach 94 Stunden auf 1 kmp ab. (Siehe Abb.7)
Offensichtlich werden gewisse Höchstwerte zu bestimmten Zeiten nicht überschritten. Unterhalb dieser Höchstwerte kann aber praktisch jeder Meßwert gefunden werden.

Abb.6 Zum Brechen der Totenstarre erforderliche Kraftmomente (Starremomente) an weiblichen Beinen in Abhängigkeit von der Liegezeit

Abb.7 Zum Brechen der Totenstarre erforderliche Kraftmomente (Starremomente) an weiblichen Armen in Abhängigkeit von der Liegezeit

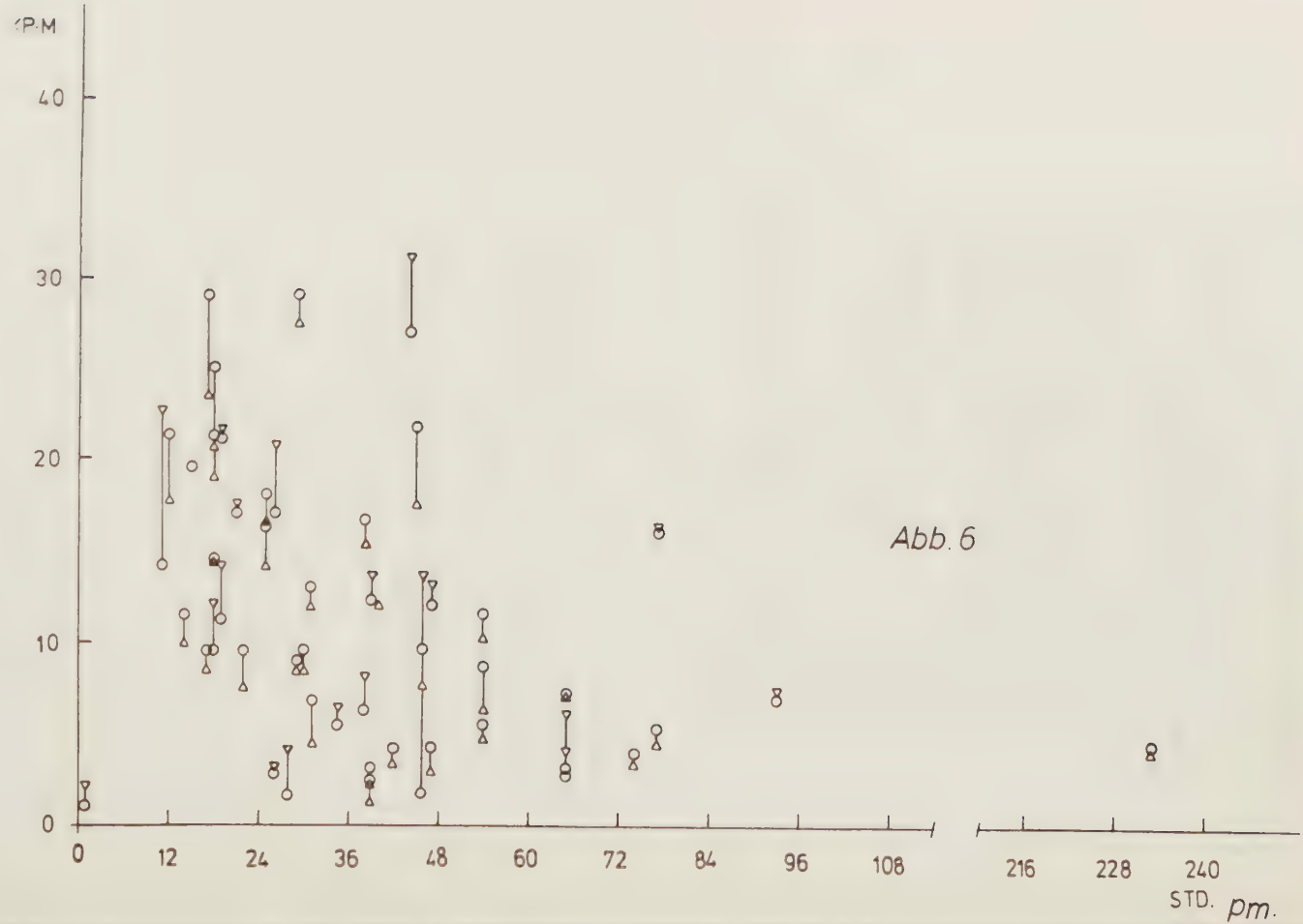


Abb. 6

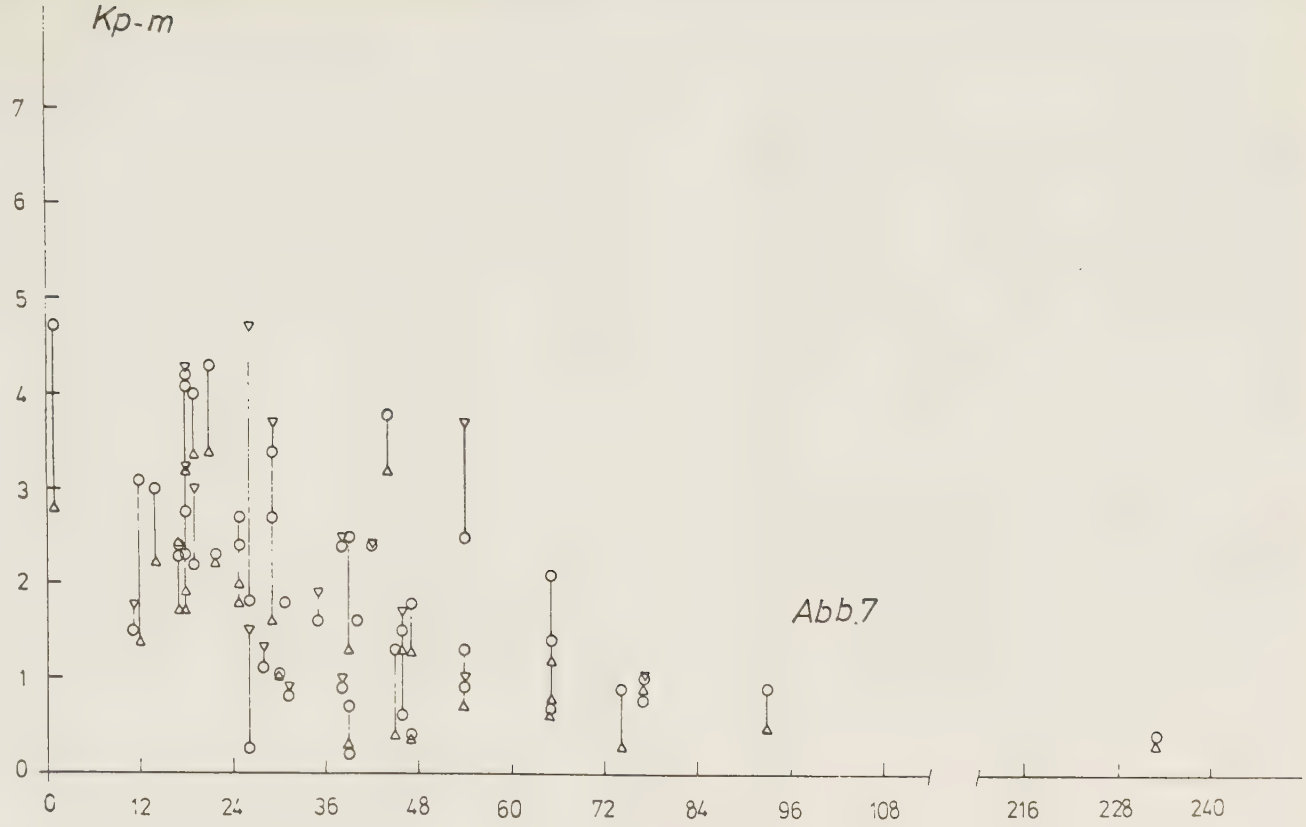


Abb.7

5.2.1. Zur Ermittlung der Kurven, welche das Feld der Meßwerte nach ober hin begrenzen wurde zunächst die Verteilung der Meßwerte untersucht und zwar für die Zeitintervalle von 12 - 24, von 24 - 36 und von 36 - 48 Stunden an den Armen. Dazu wurde in Schritten von jeweils 6 Stunden Zeitintervalle mit einer Klassenbreite von 12 Stunden gebildet und die darin enthaltene Anzahl der Meßwerte gegen die Starremomente aufgetragen (siehe Abb 8 - 1o)

5.2.2. Diese Verteilungen können mit einer Lognormalverteilung hinreichend genau beschrieben werden. Sie verlaufen als positiv-schiefe, linksseitige Verteilungen rechts flach aus.
Die Normalverteilung kommt durch additives Zusammenwirken vieler Einflußfaktoren zustande. Bei der Lognormalverteilung wirken viele Zufallsgrößen multiplikativ zusammen. Die Wirkung einer Zufallsänderung ist daher der zuvor bestenhenden Größe proportional. Sie herrscht insbesondere bei biologischen Merkmalen und Zeitstudien vor.

Abb. 8 Häufigkeitsverteilung der Meßwerte für das Zeitintervall 12 ∓ 24 Stunden (Arme weibl.)
N ges. = 23

Abb. 9 Häufigkeitsverteilung der Meßwerte für das Zeitintervall 24 - 36 Stunden (Arme weibl.)
N.ges = 21

Abb.1o Häufigkeitsverteilung der Meßwerte für das Zeitintervall 36 - 48 Stunden (Arme weibl.)
N ges = 25

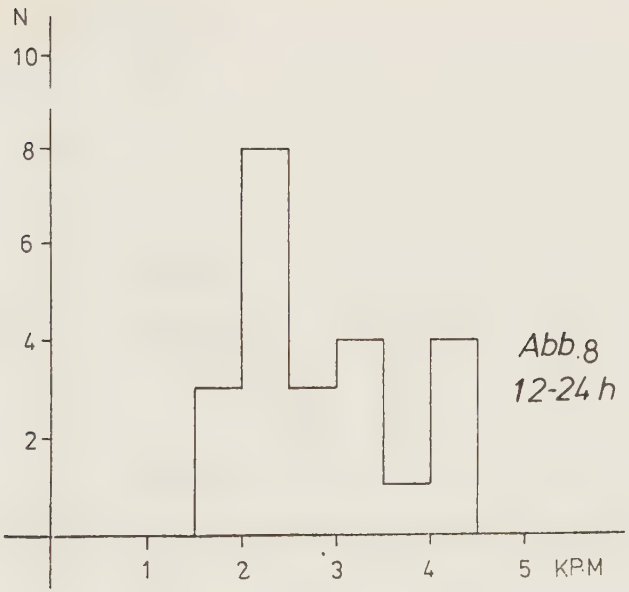
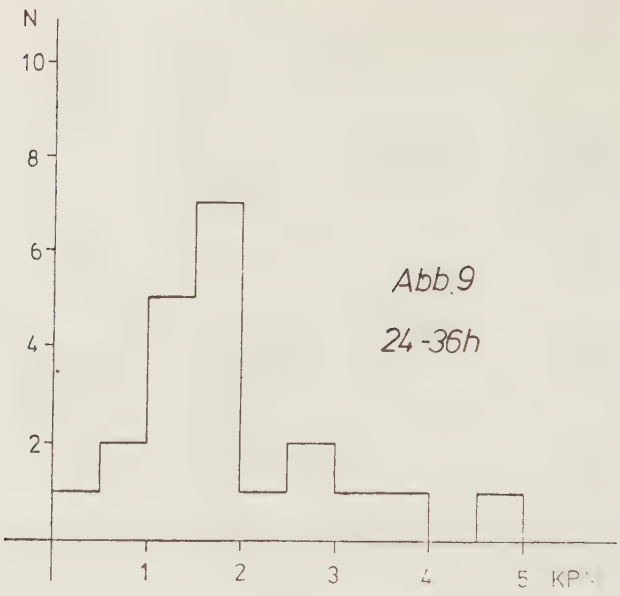


Abb. 8
12-24 h


N
10
8
6
4
2
1
2
3
4
5
Abb.9
24-36h

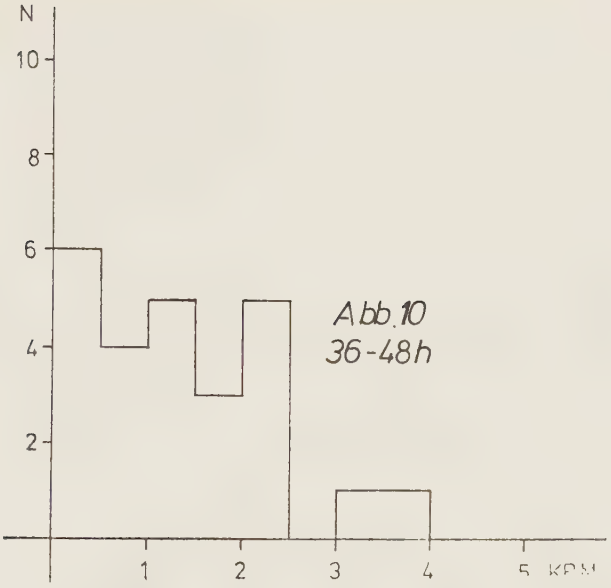


Abb. 10
36-48h

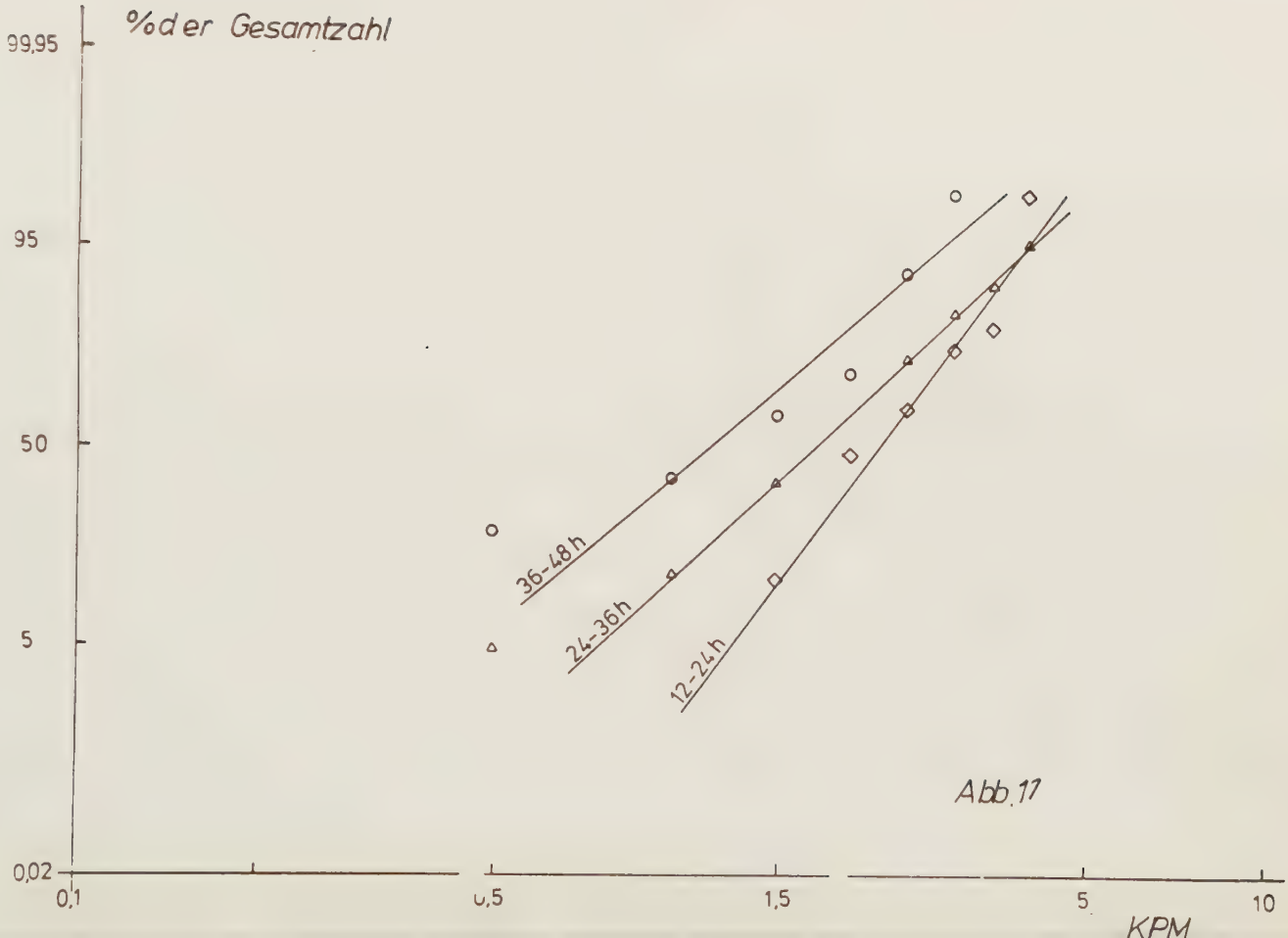

%der Gesamtzahl
99,95
95
50
5
0,02
0,1
0,5
1,5
5
10
KPM
36-48h
24-36h
12-24h

Abb. 11

Da die verschiedenen Einflußfaktoren bei der Totenstarre, die die Streuung der Werte bewirken, sich eher multiplikativ als additiv verhalten, erscheint die Anwendung der Logmormalverteilung auch sachlich gerechtfertigt. Duch das Logarithmieren kommt man zu annähernd normal verteilten Werten, da der Bereich zwischen Null und eins in den Bereich von - oo bis O überführt wird, das heißt, der linke Teil der Verteilung stark gestreckt wird.

5.2.3. Die Prüfung ob die Einflußfaktoren der Lognormalverteilung folgen, wurde am Wahrscheinlichkeitsnetz mit logarithmisch geteilter Abszisse bestätigt, da die eingetragenen Werte eine annähernd geradlinige Tendenz aufweisen (siehe Abb.11)
Es wurden die Meßwerte der Arme weiblicher Leichen für Zeitintervalle mit hinreichend großer Fallzahl heran gezogen (12 - 24 h, 24 - 36 h und 36 - 48 h)

5.3. In den Abb. 12 und 13 sind für die Messungen an weiblichen Armen und Beinen jeweils über der Klassenmitte die aus den Lognarmalverteilungen berechneten oberen 95 o/o Toleranzgrenzen eingetragen.
Dazu werden für jede Klasse aus der Lognormalverteilung Mittelwerte und Streuung berechnet und die Grenzen des zentralen 9o o/o - Toleranzintervalles ermittelt.

Abb.11 Wahrscheinlichkeitsnetz mit logarithmisch geteilter Abszisse für die Meßwerte der Zeitintervalle 12 - 24 h (o----), 24 - 36 h (o----), 36 - 48 h (o----)

Abb.12 95 o/o Toleranzgrenze der an weiblichen Beinen gemessenen Starremomente

Abb.13 95 o/o Toleranzgrenze der an weiblichen Armen gemessenen Starremomente

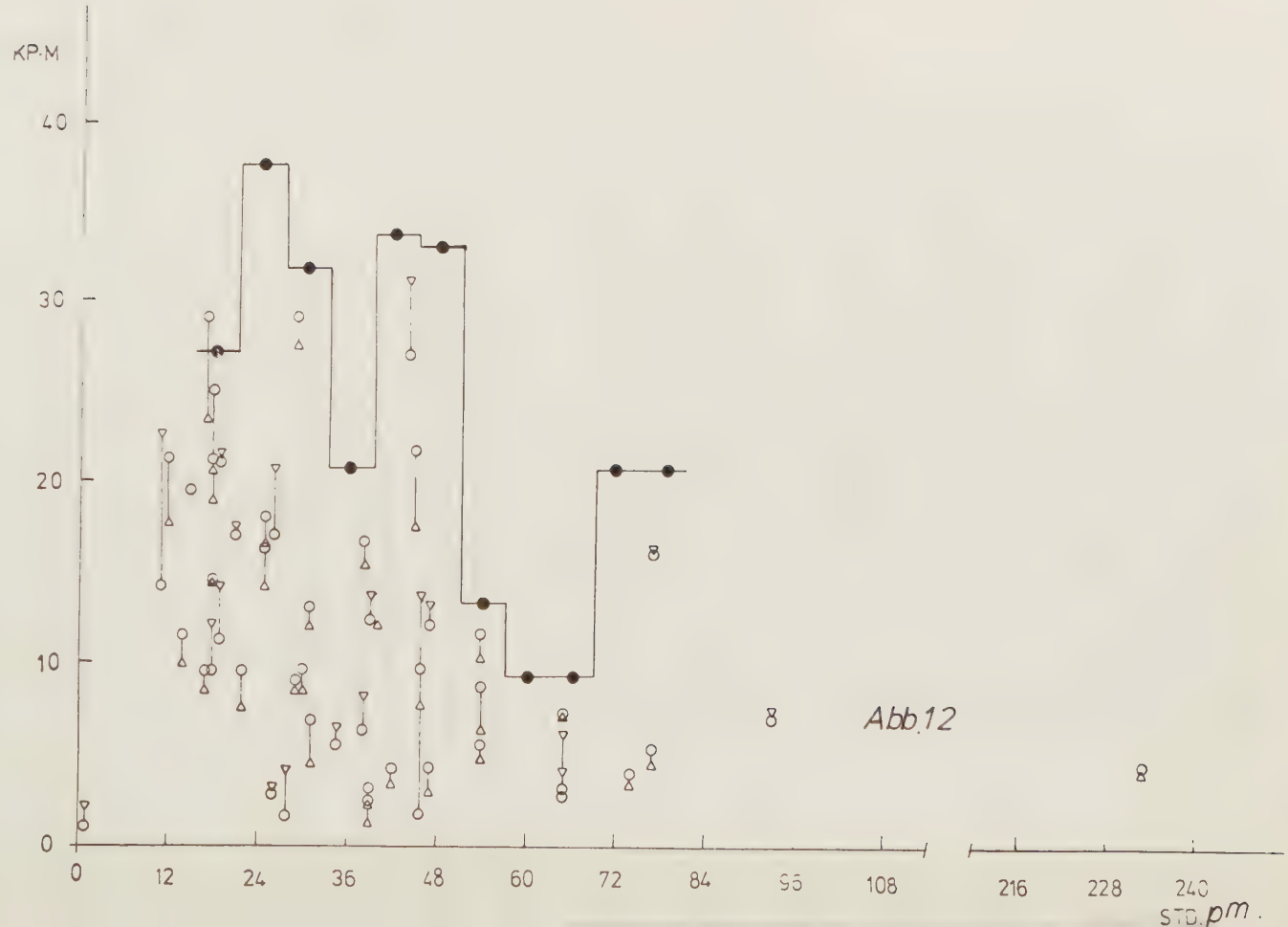


Abb.12

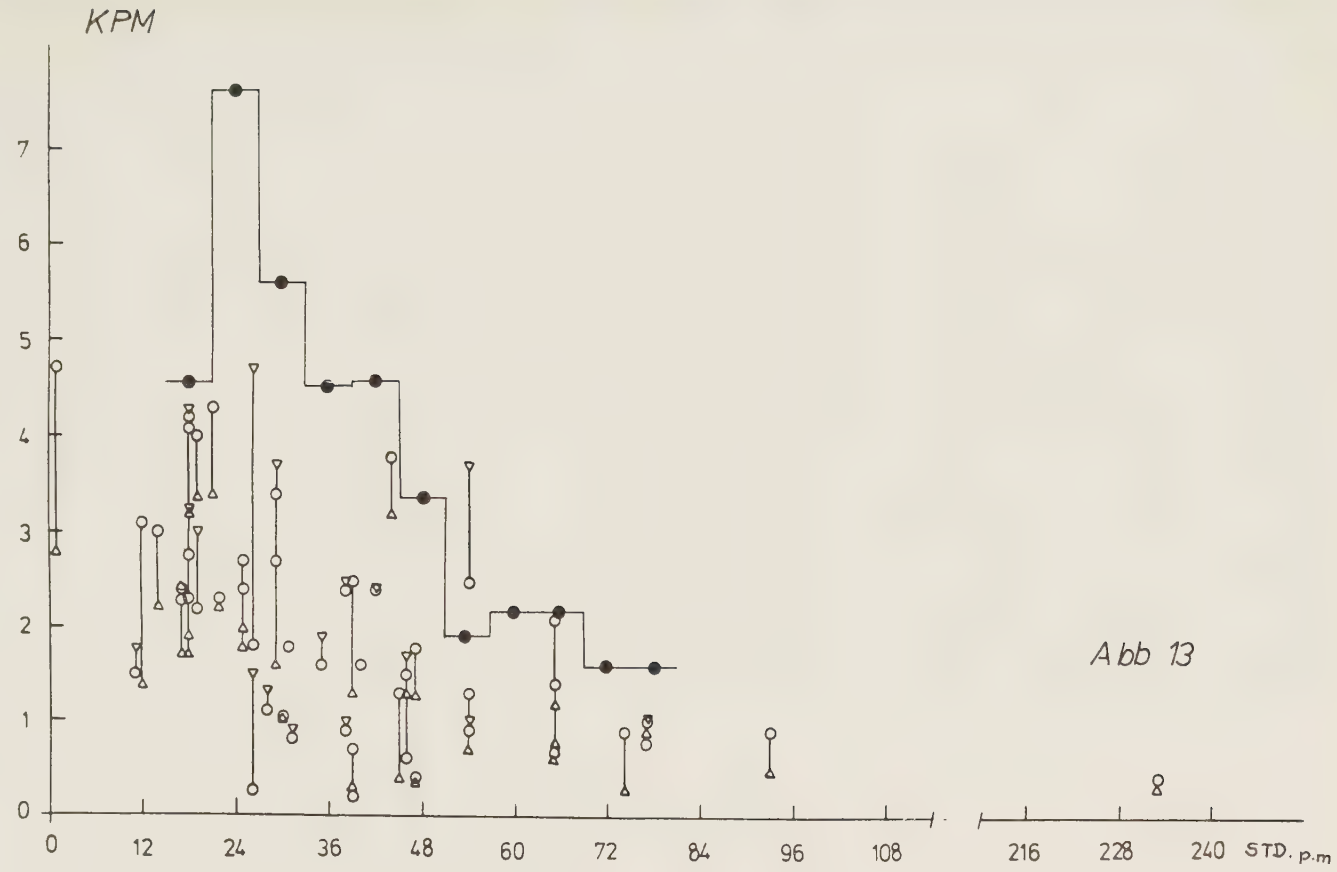


Abb 13

Unter Vernachlässigung des aufsteigenden Schenkels d.h. ab etwa 1o Stunden, läßt die so erhaltene Folge der oberen Grenzwerte in Abb. 12 und 13 einen exponentiellen Verlauf vermuten

5.4. Dementsprechend sollte sich bei halblogarithmischer Auftragung (wobei in logarithmischem Maßstab die Kraftmomente auf die Ordinate aufgetragen sind) die Grenzkurve als Gerade darstellen.
Wegen der großen Streuung der zu berücksichtigenden kleinen Fallzahl ergibt sich stattdessen ein oberes Grenzband. Dieses wurde in Abb. 14 und 15 willkürlich eingezeichnet, sodaß alle für die einzelnen Klassen berechneten oberen Grenzwerte darin enthalten sind

5.5. In Abb. 16 und 17 sind die in halblogarithmischer Darstellung gewonnenen Bänder für den 95 o/o Toleranzbereich für Beine und Arme weiblicher Leichen in entsprechender nicht logarithmischer Darstellung aufgetragen , und zwar so, daß alle Punkte des 95 o/o Bereiches darin enthalten sind.
Es handelt sich um eine Art Hüllkurve, welche den Punkthaufen momentaner und einmaliger Stichproben aus individuellen Starrekurven begrenzt.

Abb. 14 Logarithmische Auftragung der 95 o/o Toleranzgrenze der Starremomente an weiblichen Beinen über der Liegezeit

Abb. 15 Logarithmische Auftragung der 95 o/o Toleranzgrenze der Starremomente an Weiblichen Armen über der Liegezeit

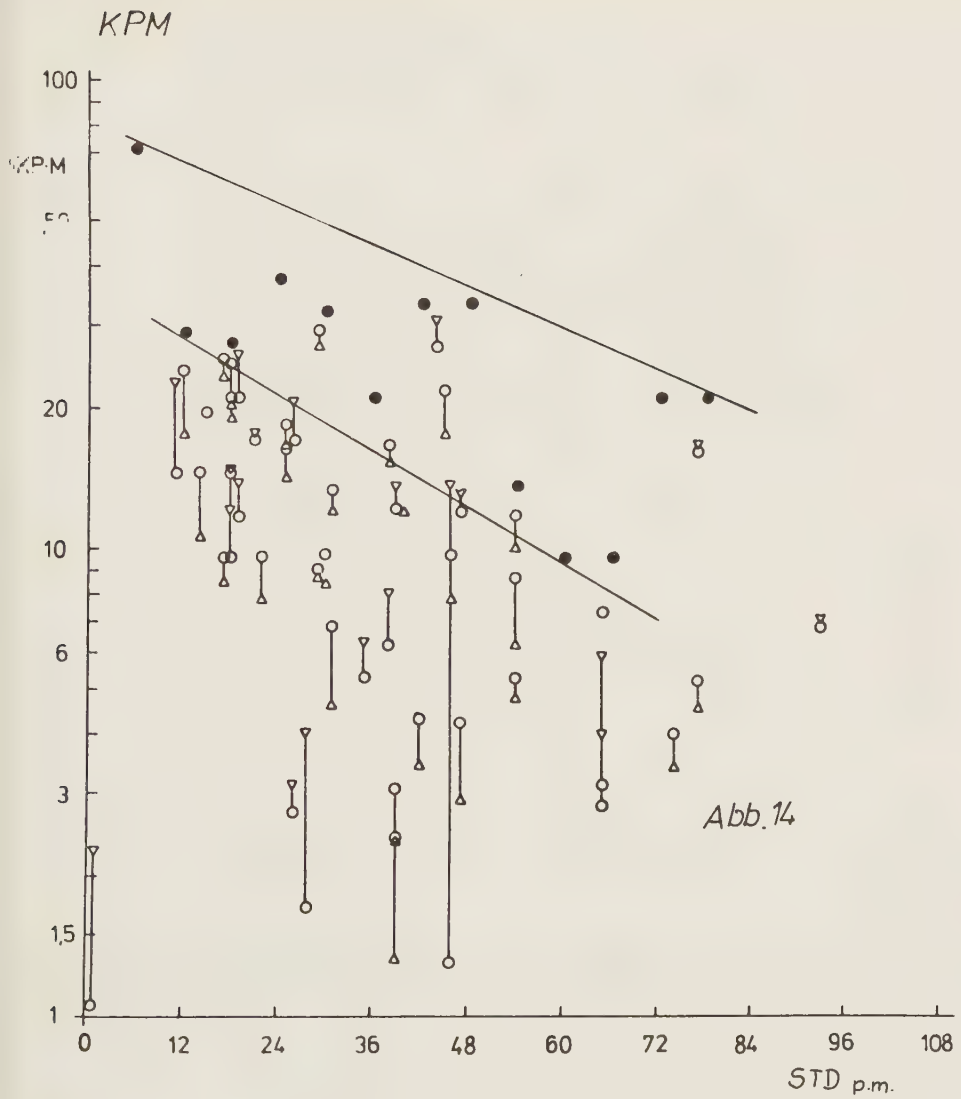


Abb. 14

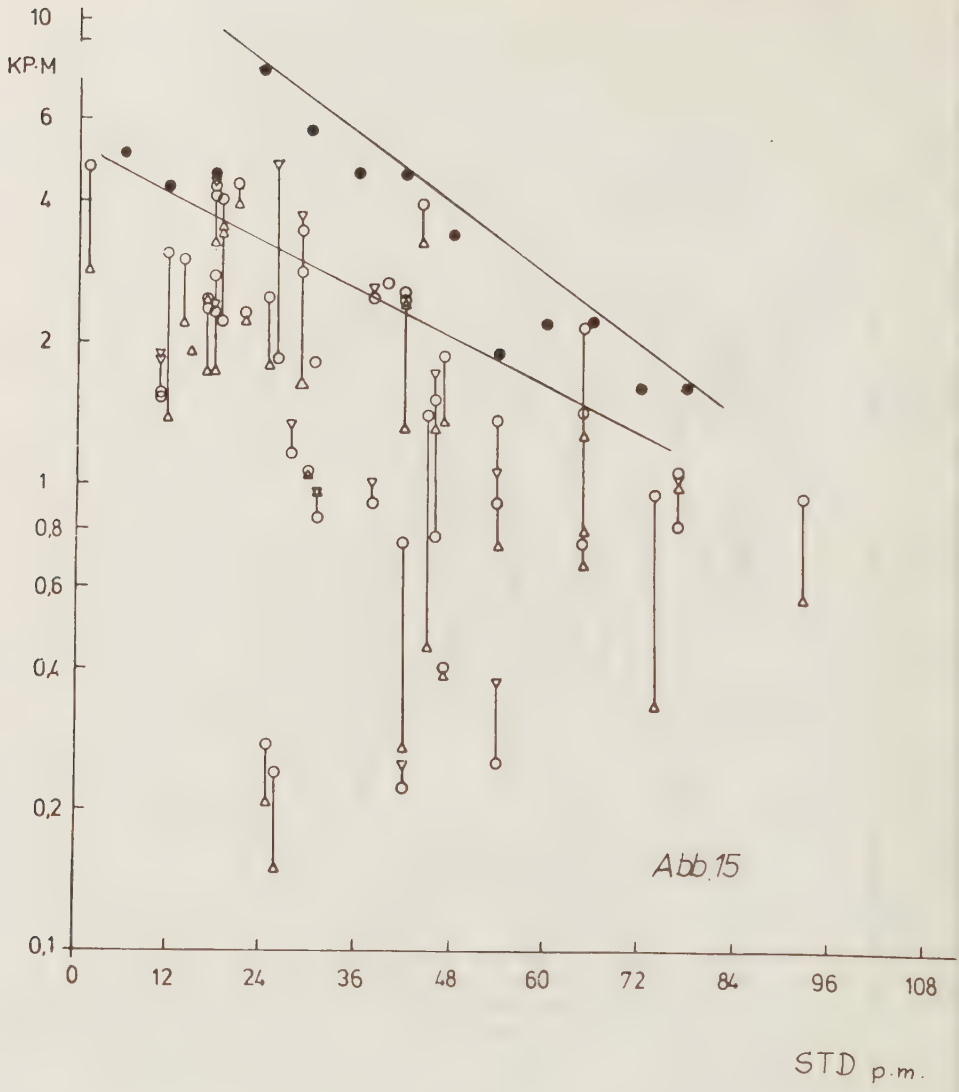


Abb. 15

5.6. Bei einem gefundenen Starremoment kann also der Todeszeitpunkt nicht länger zurückliegen, als es die obere Grenzkurve unter Berücksichtigung der entsprechenden Irrtumswahrscheinlichkeit erlaubt.

5.7.1. In der Festlegung des FRR Index schreibt Forster et al. (5): Der Wert für U (= Oberschenkelumfang wird als Quadrat angegeben, damit die Unterschiede zwischen dicker und dünnen Muskulatur entsprechend ihrer Fläche, also ihres Muskelquerschnitts miteinander in Beziehung gesetzt werden können

5.7.2. In Abb. 18 und 19 sind diesem Vorschlag folgend die Kraftmomente auf das Quadrat des Oberschnkel- bzw. Oberarmumfangs bezogen, d.h.

$$kpm/U^2 = kpm/cm^2$$

gegen die Liegezeit.
Für die Beine ergibt sich wiederum ein Maximum bei ca 18 Stunden mit 1,8 kpm/cm^2.
Bei 9o Stunden fallen die Werte ab auf o,4 kpm/cm^2.
Für die Arme liegt der Maximalwert ebenfalls bei ca 18 Stunden mit o,8 mkp/cm^2 und fällt bei 9o Stunden auf einen Wert von nur noch o,2 kpm/cm^2 ab.

Abb. 16 Einhüllende 95 o/o Toleranzgrenze für die Staaremomente weiblicher Beine in Abhängigkeit von der Liegezeit.

Abb. 17 Einhüllende 95 o/o Toleranzgrenze für die Starremomente weibli che Arme in Abhängigkeit von der Liegezeit

Abb. 18 Zum Brechen der Totenstarre erforderliche Kraftmomente / U^2 an weiblichen Armen in Abhängigkeit von der Liegezeit (O = rechts, Δ = links)

Abb.19 Zum Brechen der Totenstarre erforderliche Kraftmomente / U^2 an weiblichen Beinen in Abhängigkeit von der Liegezeit.

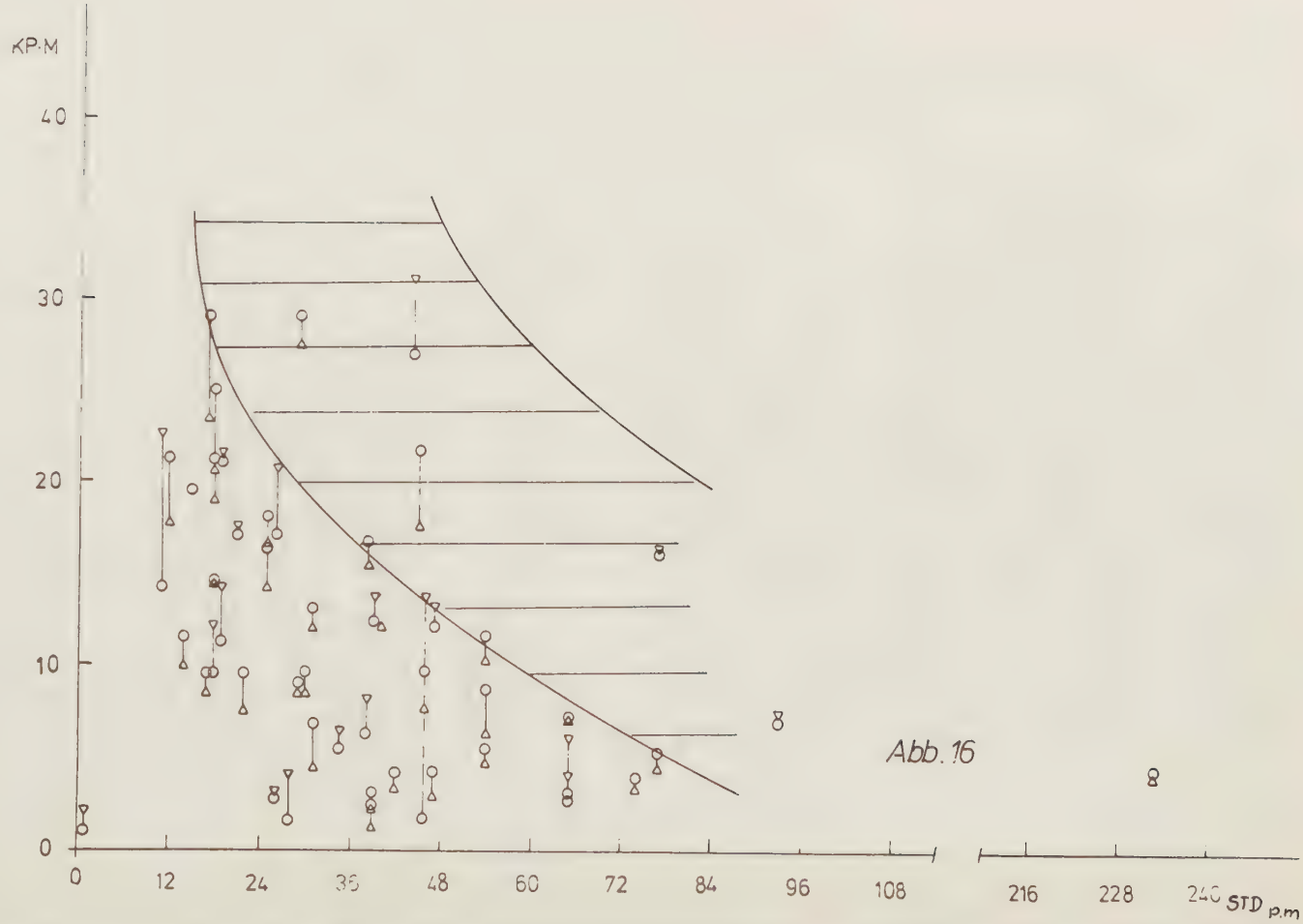


Abb. 16

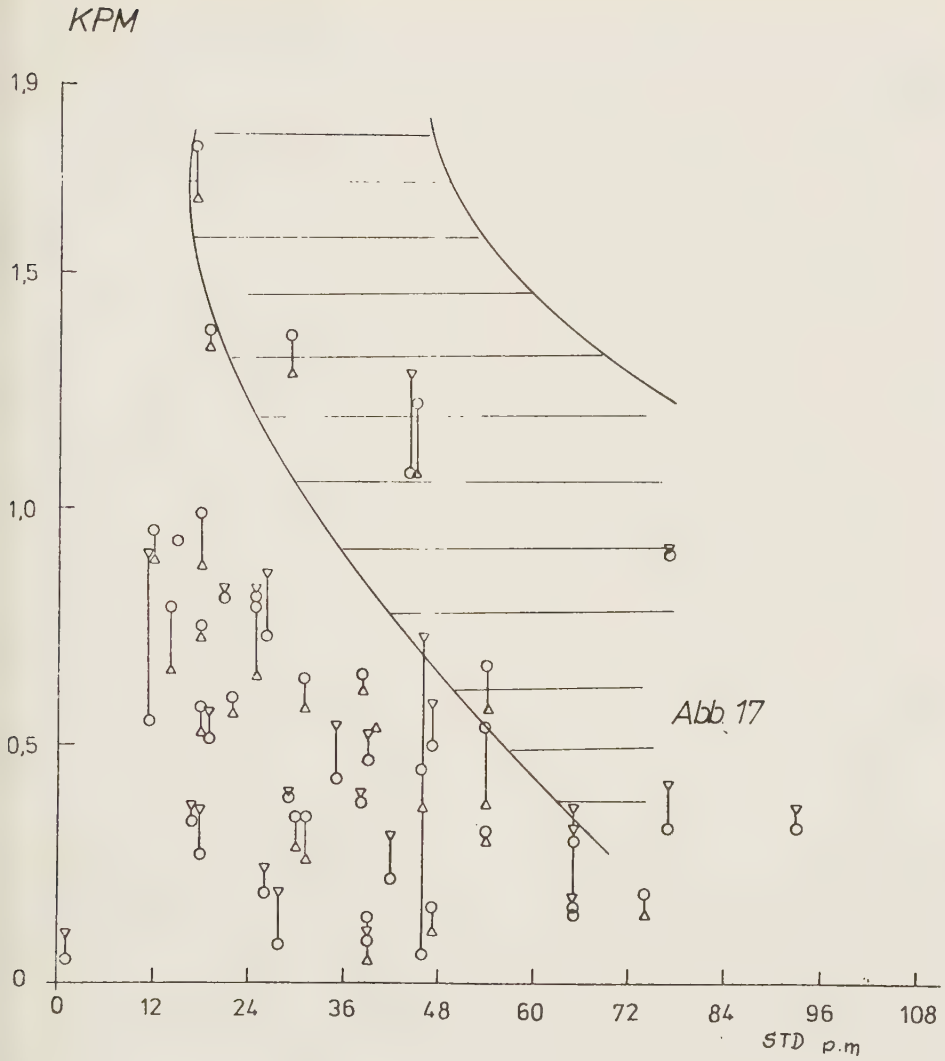


Abb. 17

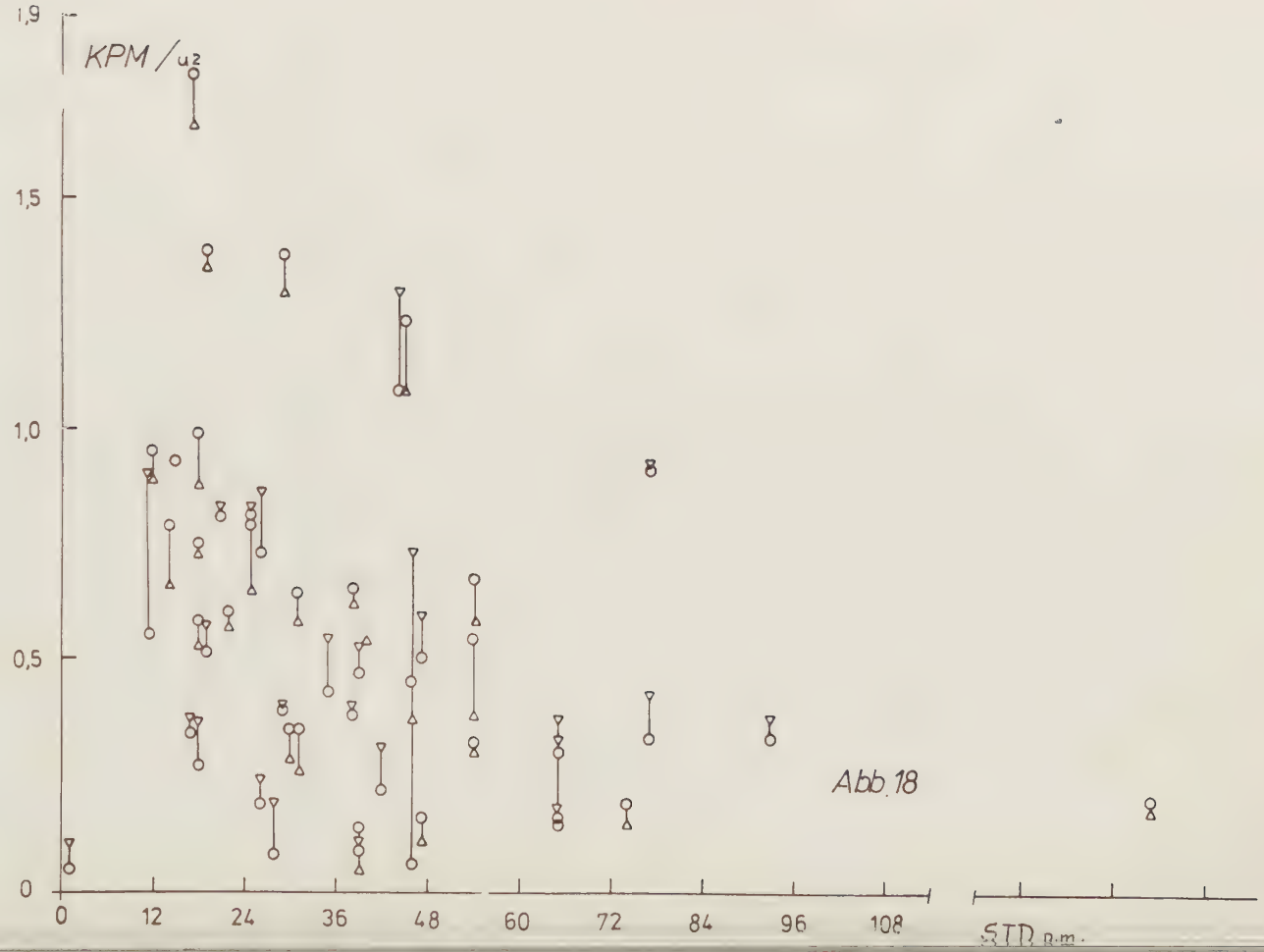


Abb. 18

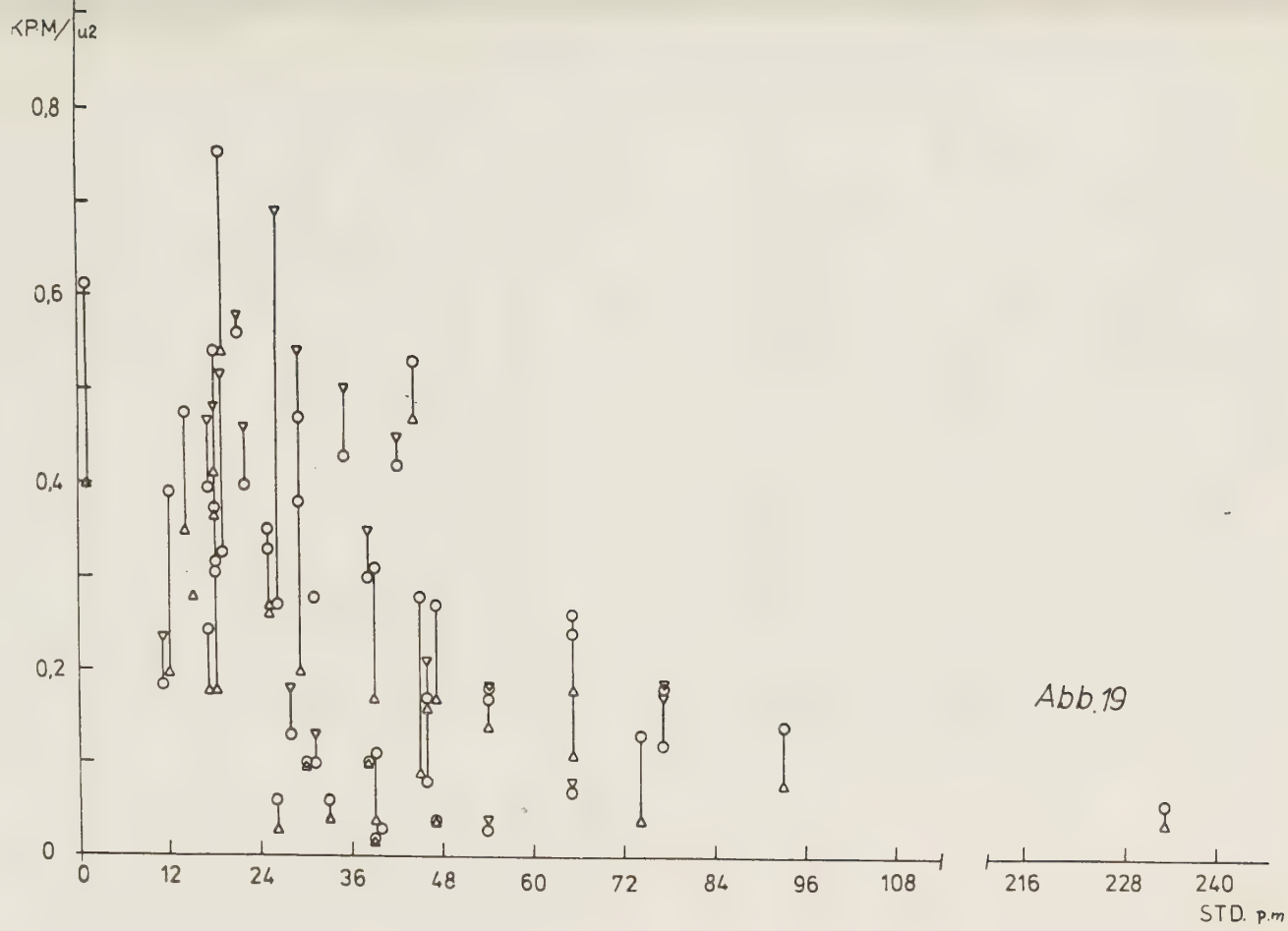


Abb. 19

5.7.3. Auch hier wurde, wie bereits in Abschnitt 5.3. geschildert über der Klassenmitte die aus den Lognormalverteilungen berechneten 95 o/o Toleranzgrenzen eingetragen.(Abb. 2o - 21)

5.7.4. Bei der halbloarithmischen Auftragung (Kraftmomente auf in logarithmischenm Maßstab eingeteilter Ordinate gegen die Zeit) ergibt sich ebenfalls ein oberes Grenzband. (Abb. 22 - 23)

5.7.5. Vergleicht man diese Kurven mit den Abb. 14 und 15, so fällt auf, daß das obere Grenzband, zumindest für die Arme schmäler ist, d.h. die Streuung durch die Linbeziehung von U geringer ist
Es ergibt sich eine geringe Besserung der Korrelation zur Liegezeit

5.7.6. In den Abb. 24 und 25 schließlich sind wiederum die in halblogarithmischer Auftragung gewonnenen Bänder für den 95 o/o Toleranzbereich in nicht logarithmischer Darstellung aufgetragen. Auch hier sind die Grenzbänder geringfügig schmäler.

Abb.2o 95 o/o Toleranzgrenze der an weiblichen Beinen gemessenen Starremomente / U^2

Abb.21 95 o/o Toleranzgrenze der an weiblichen Armen gemessenen Starremomente / U^2

Abb.22 Logarithmische Auftragung der 95 o/o Toleranzgrenzen der Starremomente / U^2 an weiblichen Beinen über der Liegezeit

Abb.23 Logarithmische Auftragung der 95 o/o Toleranzgrenzen der Starremomente / u^2 an weiblichen Armen über der Liegezeit.

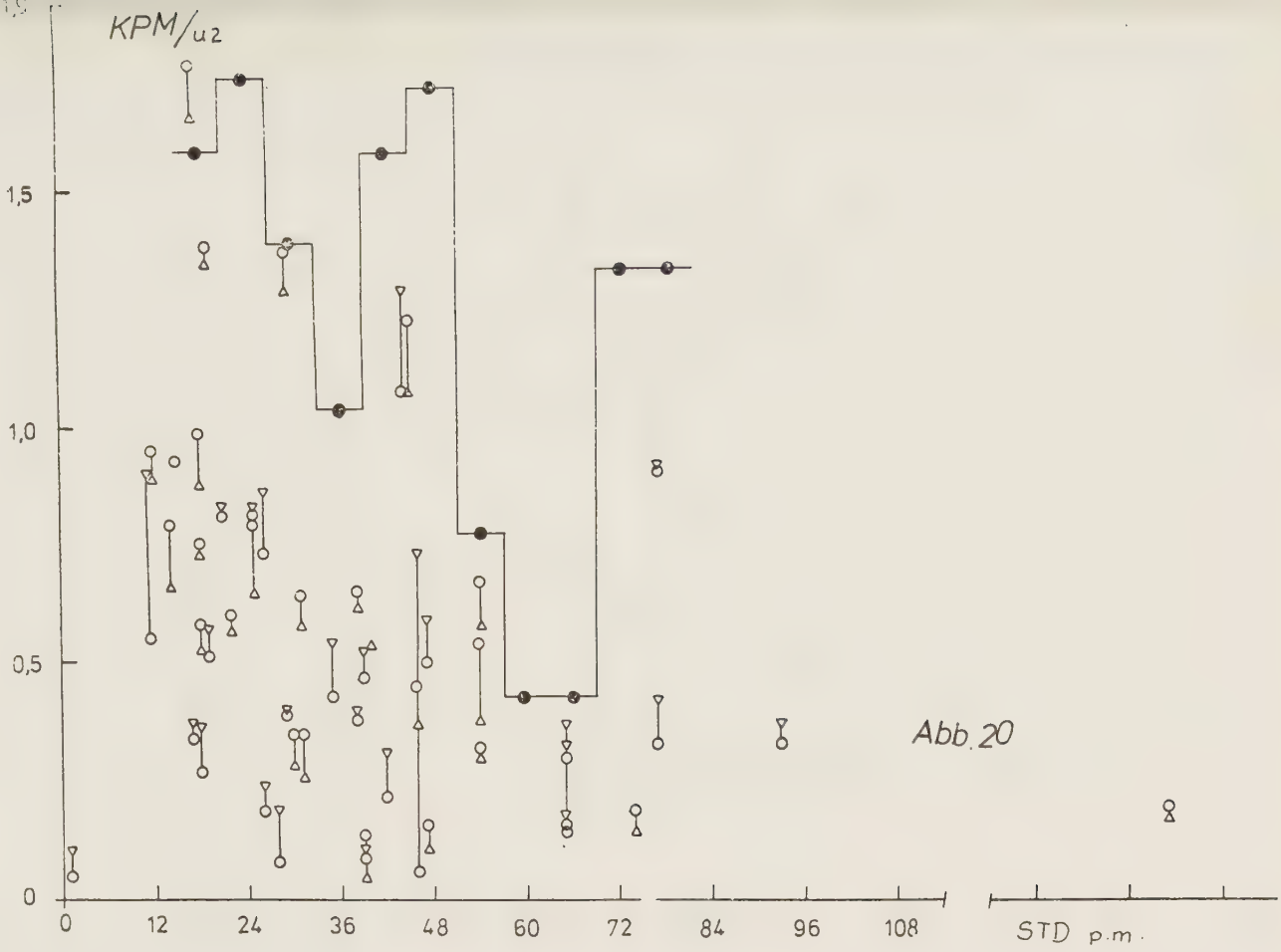


Abb. 20

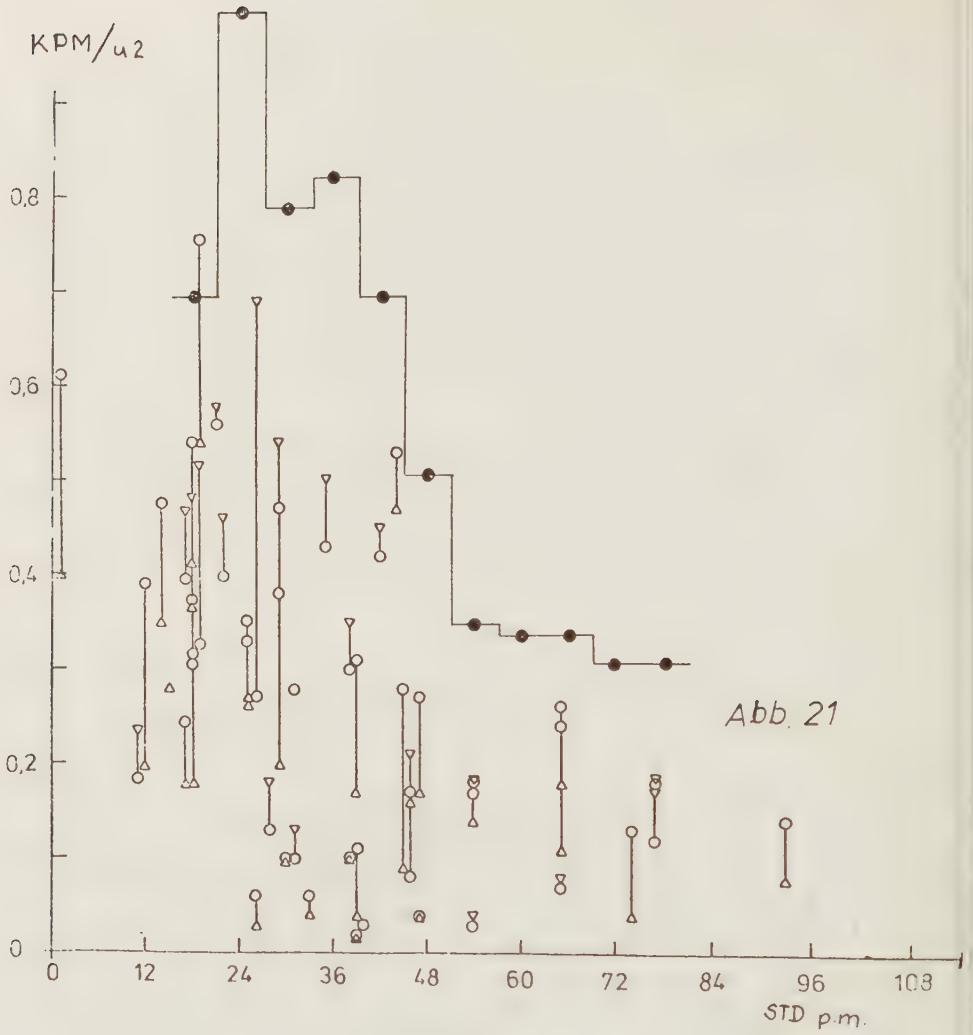


Abb. 21

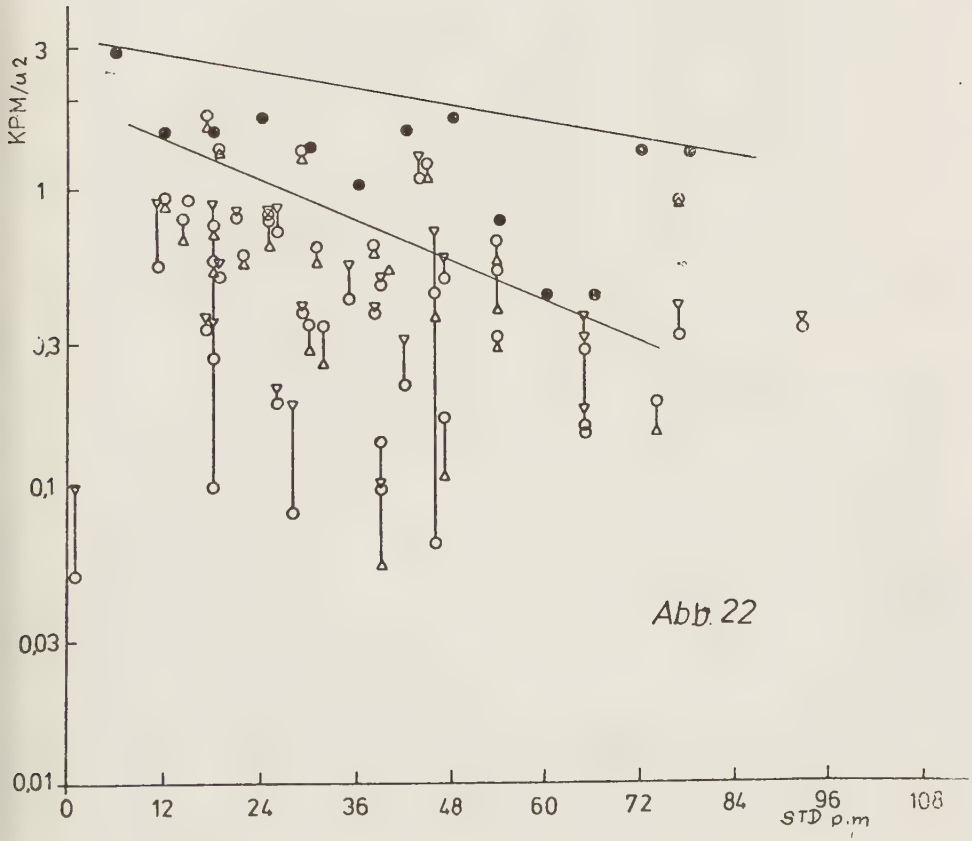


Abb. 22

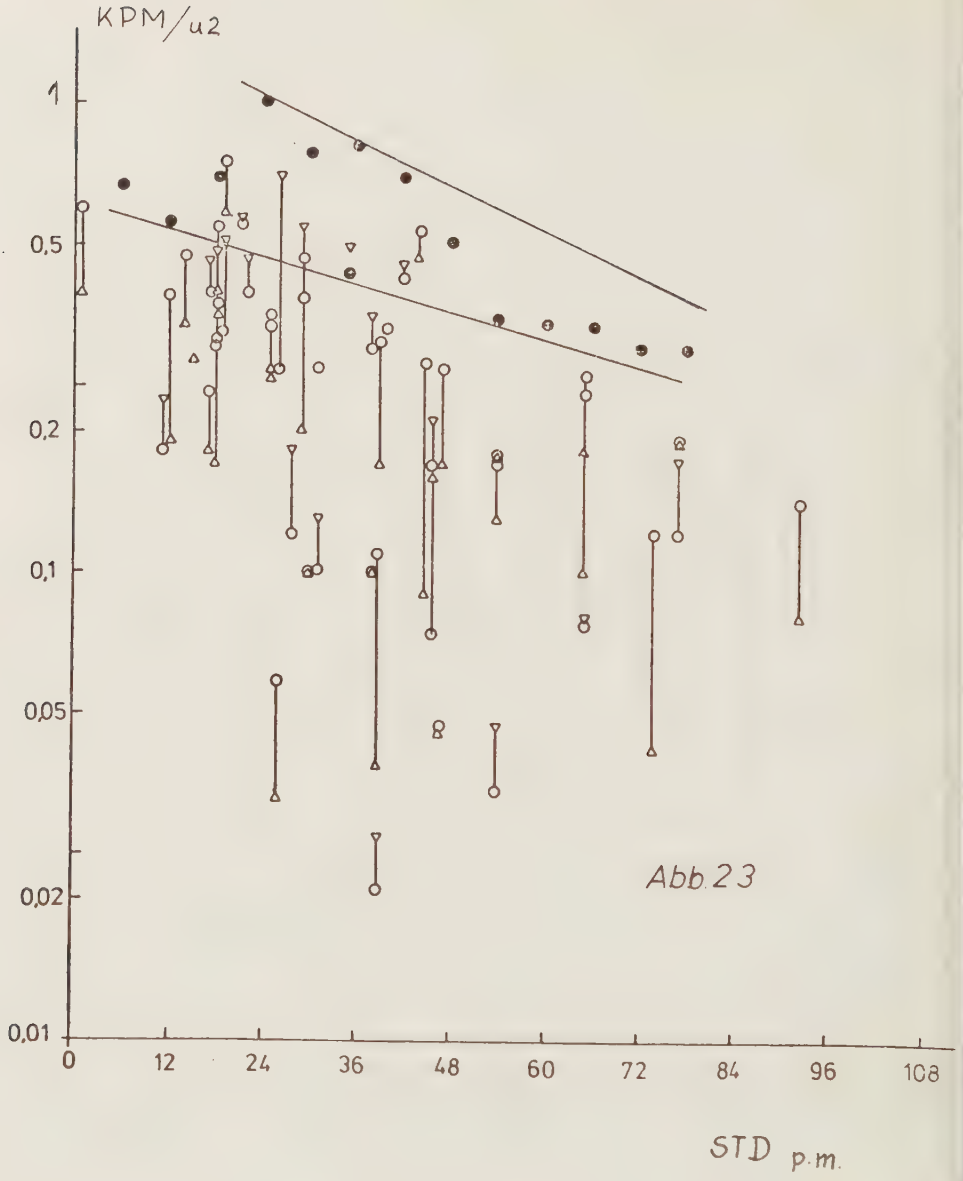


Abb. 23

5.7.7. Bei einem Vergelich der Umfänge der Gliedmaßen ergaben sich keine wesentlichen Unterschiede zwischen links und rechs. So beträgt der Unterschied zwischen den Umfängen des rechten und linken Armes im Mittel nur 1,16 cm und des rechten und linken Beines 1,18 cm.
Der maximal gefundene Umfang bei den Beinen betrug 57 cm, der mimimale 33 cm.
Für die Arme lag der Höchstwert bei 31 und der niedrigste bei 19 cm.

5.7.8. In den graphischen Darstellungen fällt ein teilweise erheblicher Unterschied in der Ausprägung der Totenstarre zwischen rechtem und linkem Bein bzw. Arm bei der gleichen Leiche auf. Diese Unterschiede scheinen umso ausgeprägter zu sein, je kürzer die Liegezeit ist .
In den Abb. 26 bis 28 ist die Verteilung der Meßwerte des rechten und des linken Beines für die Zeitintervalle von 12 - 24, 24 - 36 und 36 - 48 Stunden dargestellt.
Dazu wurde in Zeitintervallen von jeweils 12 Stunden die darin enthaltene Anzahl der Meßwerte gegen die kpm aufgetragen
Die rechts-links Abweichungen sind offensichtlich gleich verteilt. Die Bevorzugung einer Seite kann nicht nachgewesen werden.

Abb. 24 95 o/o Toleranzgrenze für die Starremomente / U^2 weiblicher Beine in Abhängigkeit von der Liegezeit.

Abb. 25 95 o/o Toleranzgrenze für die Starremomente / U^2 weiblicher Arme in Abhängigkeit von der Liegezeit

Abb. 26 Häufigkeitsverteilung der Meßwerte für das Zeitintervall 12 - 24 Stunden (Beine weiblich) rechts ges = 15, links ges = 15

Abb. 27 Häufigkeitsverteilung der Meßwerte für das Zeitintervall 24 - 36 Stunden (Beine weiblich) rechts ges. = 11, links ges = 11

Abb. 28 Häufigkeitsverteilung der Meßwerte für das Zeitintervall 36 - 48 Stunden (Beine weiblich) rechts ges. = 13, links ges.= 13

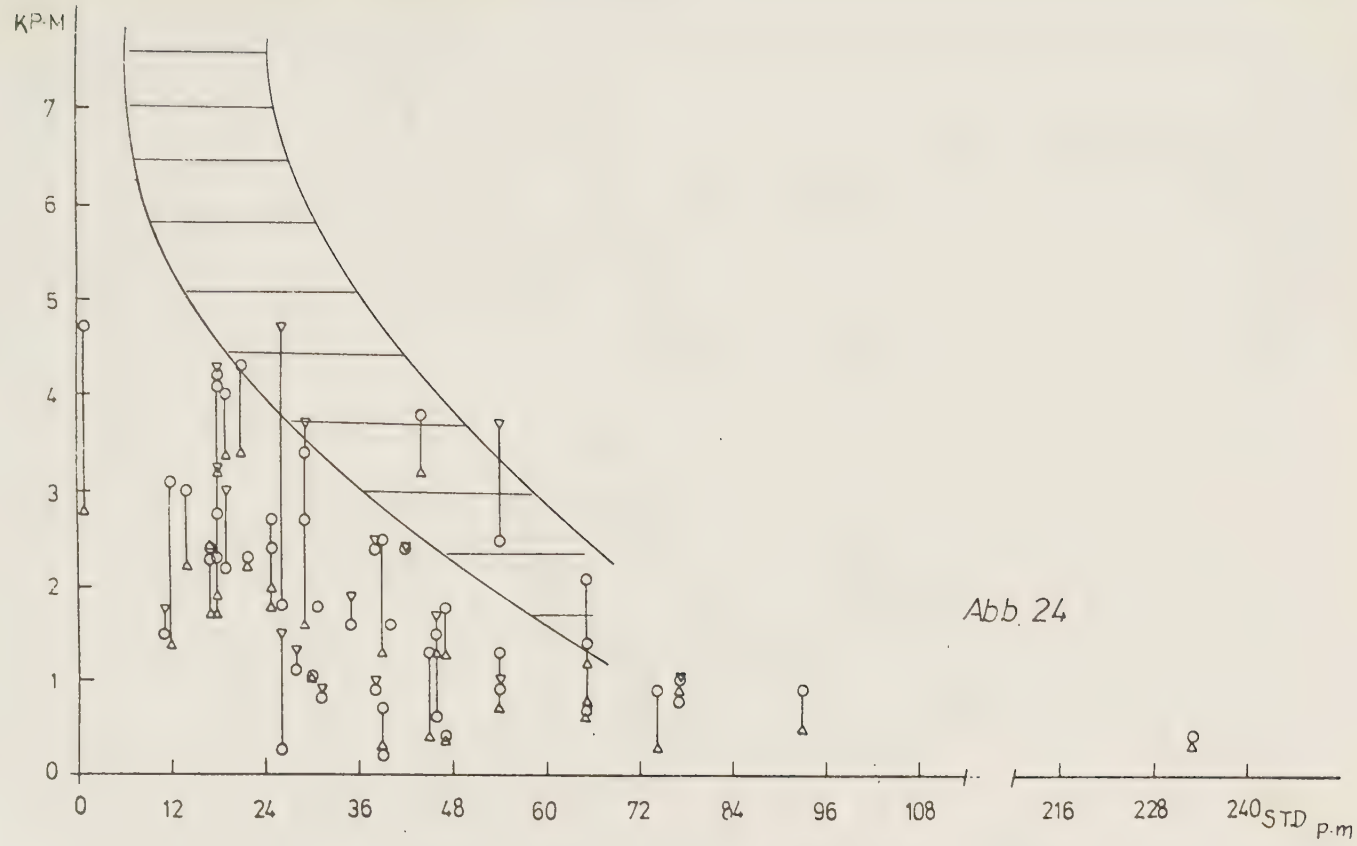


Abb. 24

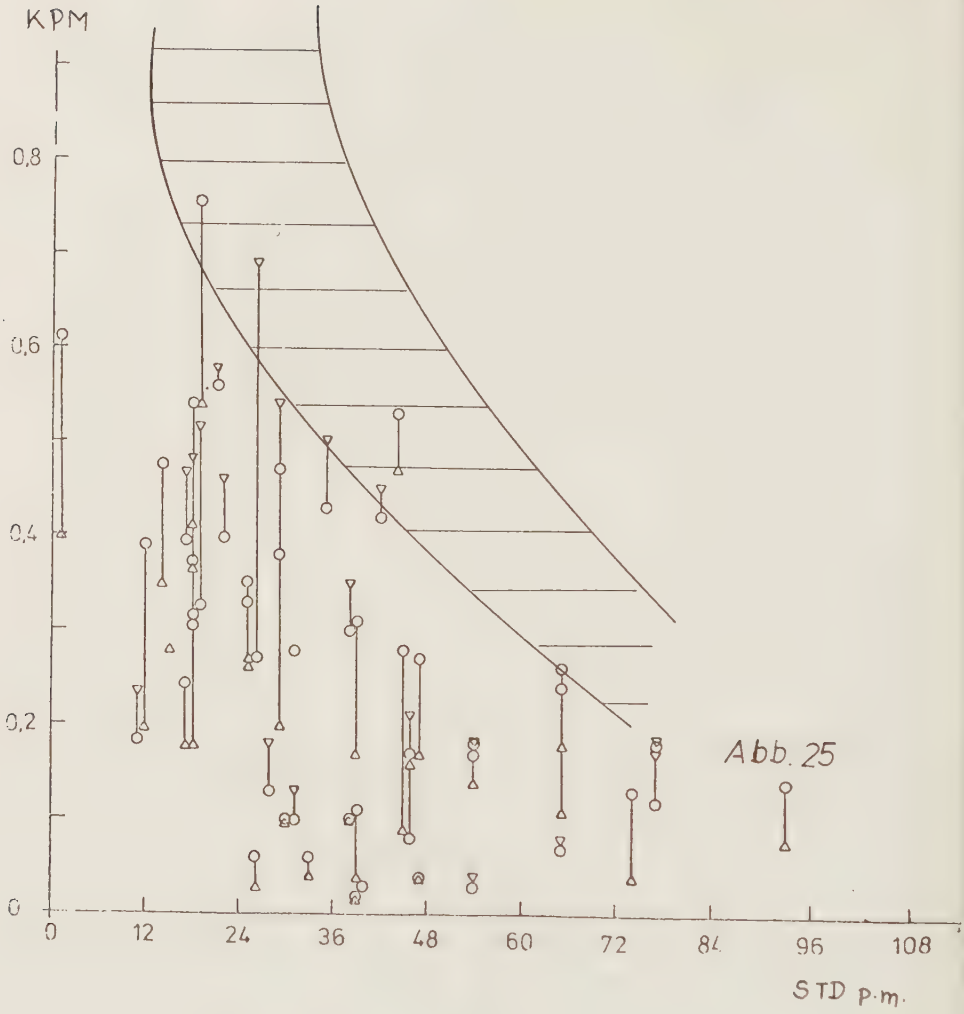


Abb. 25

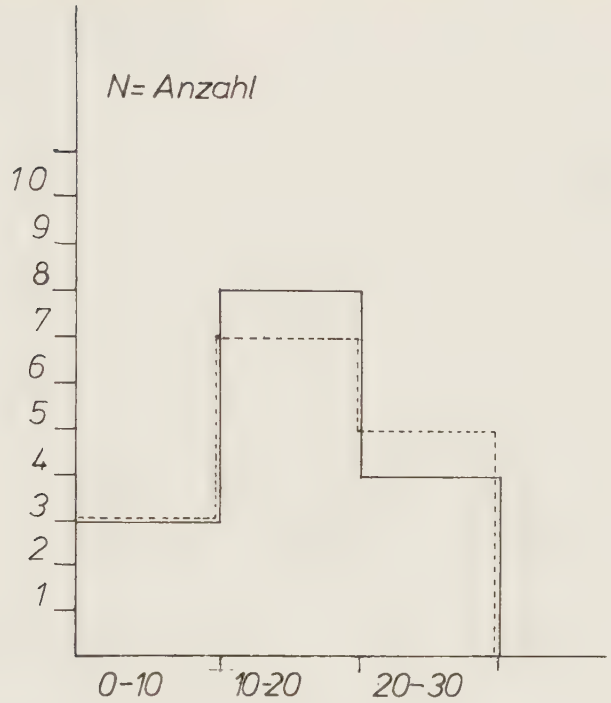


Abb. 26 12-24 h. li= - - - - - -
re= ——————

kpl m

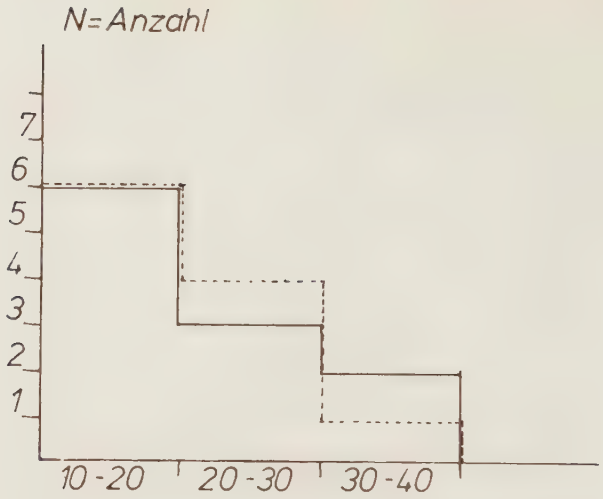


Abb.27 24-36h li ------- re ——— kplm

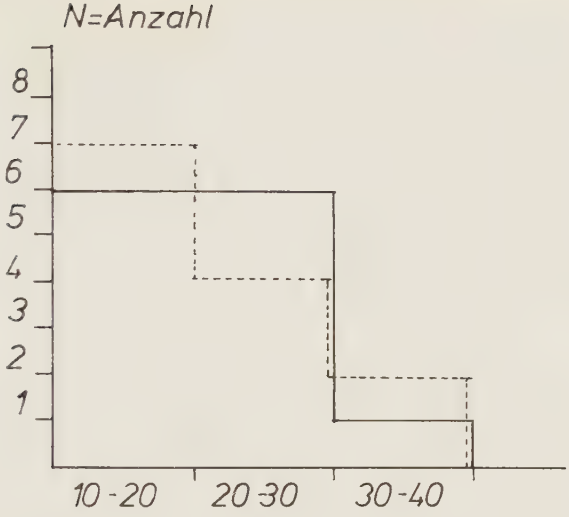


Abb. 28 te ---------
li ———

36-48 h

kp.lm

6. Diskussion

6.1. Über den Verlauf der Totenstarre liegt eine Reihe von Veröffentlichungen vor, die den Unterschied der mechanischen Eigenschaften lebensfrischer und totenstarrer Muskulatur abhandeln.
Mit der vorliegenden Arbeit wurde der Versuch unternommen, durch meßtechnische Erfassung der Totenstarre an menschlichen Leichen in situ, eine exakte Schätzung der Todeszeit zu ermöglichen.

6.2. Forster etal befaßten sich ausführlich mit der Lösung der Totenstarre; meist handelt es sich dabei um Experimente an tierischem Material.

6.2.1. In der von Forster aufgestellten Formel (5) zur Messung des Rigoris Mortis ist der kurze Hebelarm als die Entfernung von der queren Kniegelenksachse, bis zur lateralen /bzw. medialen Kante der Kniescheibenvorderfläche definiert.
Dieser wurde in der vorliegenden Arbeit nicht berücksichtigt. Die Meßwerte liegen im Bereich weniger Zentimeter. Ungenauigkeiten bei der Messung, die durch die Rundung der Kniescheibe leicht auftreten, verzerren diese Werte und vergrößern somit die Streuung.

6.2.2. In der gleichen Arbeit (5) beschreibt Forster et al. daß bei der Meßung mit der Maximumfederwage eine gleichmäßig langsame Drehbewegung (Winkelgeschindigkeit) eingehalten werden muß.
Durch die Hebelaparatur, die bei den Meßungen in dieser Arbeit benutzt wurde, konnte diesem Vorschlag in verstärktem Maße entsprochen werden. Dennoch tragen Ungenauigkeiten durch ungleichmäßigen Zug zur vermehrten Streuung der Meßwerte bei.

6.2.3. Wie in 4.1.5. geschildert, wurde jeweils das Eigengewicht jeder Gliedmaße (= Leerwert) gemessen. Es lag für die Arme im Mittel bei nur o,8 kp und für die Beine bei 2,3 kp. Es kann, wie auch Forster (5) erwähnt, vernachläßigt werden, da die Meß- und Ablesegenauigkeit des Meßgerätes zu gering ist, um exakte Werte in diesem Bereich zu erhalten.

6.2.4. In Punkt 5 und 7 wurden dem Vorschlag Forsters et al. folgend (5) die Kraftmomente auf das Quadrat des Umfanges bezogen.
Wie bereits in 4.7.7. erwähnt ergaben sich zwischen den rechten und linken Umfängen keine größeren Unterschiede
Schließt man daraus, daß sich auch die Muskelquerschnitte rechts und links nicht wesentlich unterscheiden, so ergibt sich die Folgerung, daß gleiche Muskelstärken in der Lage sind, zu gleichen Liegezeiten verschieden stark ausgeprägte Leichenstarren zu entwickeln

6.2.5. Dem Einfluß der Temperatur wurde die entsprechende Bedeutung eingeräumt (siehe 3.6.), sodaß die Aussage der Meßergebnisse nur auf die Umgebungstemperatur von 4^{o} C (1^{o}C) bezogen werden kann.

6.3. Insbesonders für die höheren Liegezeiten ist immer noch eine zu geringe Fallzahl vorhanden. Daher wurde von der Angabe von Vertrauensgrenzen mit hinreichend niedriger Irrtumswahrscheinlichkeit abgesehen.

6.5. Zwischen den in der Untersuchung gemessenen Kraftmomenten und der Liegezeit ist kein direkter funktioneller Zusammenhang erkennbar. Dies ist auf die verschiedenen die Totenstarre beeinflußenden inneren und äußeren Faktoren zurückzuführen.

Betrachtet man die graphischen Darstellungen, so läßt sich ein oberer Grenzbandbereich ermitteln der die Ausprägung der Starre nach oben hin be-

grenzt Unterhalb dieses Grenzbandes jedoch erscheint jeder Meßwert möglich. So wurden in dem Bereich, in dem sich einerseits Maximalwerte der gemessenen Kraftmomente finden, Werte gemessen, die einer nur geringen Reststarre oder sogar völliger Lösung entsprechen. Andererseits sieht man z.B. bei einer Liegezeit von 75 Stunden noch Kraftmomente vom 18 kpm, die noch 5o o/o der Maximalwerte betragen, was dem Untersucher noch als voll ausgeprägte Starre imponieren muß (siehe Forster 5).

7. Zusammenfassung

An 5o weiblichen Leichen wurde die Abhängigkeit der Totenstarre von der Liegezeit bei einer Umgebungstemperatur von +4°C untersucht.
Dabei wurden die Kraftmomente an den Armen und Beinen gemessen, die zum Brechen der Starre erforderlich waren.
Durch die Auswertung der Meßergebnisse d.h. die Auszeichnung der gefundenen Kraftmomente in Abhängigkeit von der Liegezeit, ließen sich bestimmte obere Grenzwerte festlegen, unterhalb derer jedoch praktisch jeder Meßwert erwartet werden kann.

Unter Annahme der Lognormalverteilung der gemessenen Kraftmomente zu gegebener Liegezeit wurden für Zeitintervalle von jeweils 12 Stunden die 95 o/o Toleranzgrenzen berechnet.
Daraus ließ sich eine Hüllkurve konstruieren, die den Punkthaufen momentaner und einmaliger Stichproben aus individuellen Starrekurven begrenzt
Aufgrund dieses Grenzkurvenbandes ist hinsichtlich der Schätzung des Todeszeitpunktes nach Messung der Totenstarre nur eine Aussage in der Weise möglich, daß bei einem gegebenen Starremoment der Todeszeitpunkt nicht länger zurückliegen kann, als die obere Grenzkurve unter Berücksichtigung der entsprechenden irrtumswahrscheinlichkeit erlaubt.

Literatur

1 Bate - Smith
Bendall,J.R. Factors Determining the time Course of Rigor Mortis
J. Physiolgy (London) 11o, 47 - 65 (1949)

2 Bate - Smith
Bendall,J.R. Changes in Muscle after Death
Brit.med.Bull.12, 23o (1956)

3 Beier G.,
E.Liebhardt
M.Schuck
W.Spann Totenstarremessungen an menschlichen Skeletten in situ
Z.Rechtsmedizin 79, 277 (1977)

4. B.Forster
D.Ropohl
P. Raule Tierexperimentelle Unters. zur Lösung der Totenstarre
Vortrag 51 Tgg.Dtsch.Ges.Rechtsmed. Wien 1972

5 B.Forster
D.Ropohl
P.Raule Eine neue Formel zur Beurteilung der Totenstarre: Die Feststellung des FRR Indes.
Z. Rechtsmedizin 8o, 51 (1977)

6. B.Forster The contractil Deformation of Skelettal Muscel in Rigor Mortis
Journal of Forensic Med. 1o.
Nr. 4 (1963)

7. B.Forster The plastic and elastic Deformation of Skelettal Muscle in Rigor Mortis
Journal of forens. Med. Vol 1o Nr. (1963)

8. Mallach H.J.
H.J.Mittermayer Totenstarre und Totenflecke. Methodische Auswertung des Todeszeit mit Hilfe maschineller Datenverarbeitung
Z. Rechtsmedizin 69, 7o (1971)

9. Mangold E Der Verlauf der Totenstarre am isolierten und in situ belassenen Skelettmuskel von Säugern
Pflügers Archiv 189/99 (1921)

1o. Mangold E Die Totenstarre
Naturwissenschaften 1o, 895 (1922)

11. Mittermeyer H.J. Abhängigkeit der Totenstarre und Totenflecke vom Leichenalter
Beitr.z. Gerichtl. Med 28
1o1 - 1o7 (1971)

12. Morgenstern S Experimentelle Ergebnisse zur Frage des Temperatureinflusses auf die Leichenstarre
Dtsch.Z.ges.gerichtl.Med.
9, 718 (1927)

13. Nysten Ph Von der Erstarrung, welche die Körper des Menschen und Tiere nach dem Tode befällt
Recheres d. physiolo. et de chemie patholog.
Paris 1811

14 Oppenheim F
Wacker L Das Ausbleiben der postmortalen Säurebildung im Muskel als Ursache der verschiedenen Intensität der Totenstarre mensch-

licher Leichen.
Berl. klin. Wschr. Bd. II, 99o
(1919)

15. Prokop O. — Forensische Medizin
2. Auflage VEB - Verlag Volk
und Gesundheit
Berlin 1966

16. Schwerd W. — Rechtsmed.
Deutscher Ärzteverlag 1975
S. 184

17. Zink P. — Mechanische Eigenschaften lebensfrischer und totenstarrer menschlicher Skelettmuskelfasern und ganzer Muskel
Z. Rechtsmedizin 7o, 163 - 177
(1972)

18. Zink P — Das Verhalten menschlicher Skelettmuskulatur während des Verlaufs der Totenstarre
Z. Rechtsmedizin 71, 17o - 173
(1972)

Lebenslauf

geboren am 15. Juli 195o in München

1956 - 196o	Besuch der Volksschule an der Boschetsriederstr. München
196o	Eintritt in das Theresiengymnasium in München
197o	Abitur am Theresiengymnasium
1971	Vorklinikum in vet.Medizin in Mü.
1972	Wechsel zum Studium der human-Medizin in Köln
1974	Physikum in München
1975	erstes Staatsexamen
1976	Famulatur in Peru
1977	zweites Staatsexamen
1978	Aprobation